

Tutkintotyö

Veijo Wallin

**MELUSEINIEN MODUULIJAON VAIKUTUKSET RAKENTEISIIN,
PERUSTUKSIIN JA KUSTANNUKSIIN**

Työn ohjaajat
Työn teettäjä
Tampere 2007

Di. Reijo Rasmus ja Di. Pirjo Hietala
Ins. Veikko Ranta, Tieliikelaitos

TAMPEREEN AMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Yhdyskuntatekniikka

Veijo Wallin

kustannuksiin

Tutkintotyö

Työn ohjaajat

Työn teettäjä

Tammikuu 2006

Meluseinien moduulijaon vaikutukset rakenteisiin ja

44 sivua + 9 liitesivua

Di. Reijo Rasmus ja Di. Pirjo Hietala

Ins. Veikko Ranta, Tieliikelaitos

meluseinä, moduuli, perustus

TIIVISTELMÄ

Ympäristönsuojelulaki- ja asetus asettavat meluntorjunnan yleiseksi päämääräksi terveellisen ja viihtyisän elinympäristön, jossa ei ole meluhaittoja. Kansalaisten tulee myös voida nauttia hiljaisuudesta ja kuunnella luonnon ääniä. Rakennetun ympäristön tilaa tulee parantaa siellä, missä melusta on haittaa. Uusia asuntoja ei saa rakentaa alueille, missä melusta on ilmeistä haittaa, ellei samalla kyetä kunnolla suojaamaan sekä asuntoja että asuinympäristöä melulta. Lisäksi tulee huolehtia siitä, että melulta suojattuja virkistysalueita on riittävästi.

Tässä työssä on pyritty löytämään edullisimmat Tiehallinnon normit täyttävät meluseinärakenteet sekä perustamistavat. Työssä on esitetty kustannusvertailut yleisesti käytössä olevien seinämateriaalien, perustamistapojen, jännemittojen ja seinäkorkeuksien kesken.

Selvitys on tehty kolmivaiheisesti. Ensimmäisessä vaiheessa on selvitetty eri moduulijaon vaikutuksia rakennetekniikkaan ja toisessa vaiheessa moduulijaon vaikutuksia kustannuksiin. Kolmannessa vaiheessa koottiin yhteen jokaisesta rakenneratkaisusta kaksi edullisinta.

Tulokset ovat suuntaa antavia ja meluseinät on aina suunniteltava tapauskohtaisesti. Tulokset antavat kuitenkin mahdollisuuden tarkastella eri materiaalivaihtoehtojen ja toteutustapojen vaikutusta toisiinsa.

Eri vaihtoehtoja vertailtaessa on rakentamisajankohdalla ja markkinatilanteella suuri merkitys meluseinän kustannuksiin, esimerkiksi talvella saa betonielementtejä 30-40% halvemmalla kun keväällä, joita tässä selvityksessä ei ole huomioitu.

TAMPERE POLYTECHNIC
Construction Technology
Civil Engineering Management
Veijo Wallin

Engineering Thesis
Thesis Supervisor
Commissioning Company
January 2006
Keywords

Effects of the module division of the noise genuine on the costs and structures
44 pages, 9 appendices
Reijo Rasmus (MSc) and Pirjo Hietala (MSc)
Finnish Road Enterprise, engineer Veikko Ranta
noise wall, module, base

ABSTRACT

The goal of the noise control is healthy and cosy environment in which there are no noise problems. The citizens have also to be able to enjoy a silence and to listen to the voices of the nature. The state of the built environment has to be improved there where there is a drawback from the noise. Must not build new apartments where there is a drawback from the noise on the areas if it is not possible to protect both apartments and a residential environment at the same time well from the noise. Furthermore, it have to be made sure that there are enough recreation areas that have been protected from the noise.

In this work an attempt has been made to find, the most advantageous norms fill noise walls and establishment ways. In this work the cost comparisons have been presented between wall materials, establishment ways, tangential measures in use generally and the wall heights.

The results are indicative and the noise walls must be always designed, case by case. However, the results make the comparison of separate materials and methods of construction possible.

ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö on tehty suurella hartaudella Tampereen ammattikorkeakoulun rakennustekniikan osastolle. Työn valvojana on toiminut, hyvin suunnistajanakin tunnettu, Di Reijo Rasmus, joka on myös tarkastanut työn, mistä hänelle paljon kiitoksia.

Kiitoksia myös Pirjo Hietalalle sillä hän tuli auttamaan Reijoa tämän vaativan työn ohjauksessa.

Esitän myös kiitokseni Fofonoffin Osmolle Sevettijärvelle.

Kiitokset ansaitsee myös urakoinnin edustaja ja työn teettäjä, insinööri ja ralliautoilija Veikko Ranta.

Kiitoksia myös työhön osallistuneelle insinööri Jouni Ala-Laurinaholle, joka lähti vuonna 2004 Aasiaan ja tunnetaan nykyisin nimellä John Laurinaho.

Kiitokset myös Juha Noeskoskelle, joka omalla tavallaan kannusti minua tämän työn loppuunsaattamiseksi.

Kiitoksia myös kaikille luokkakavereilleni ja opettajille mielenkiintoisesta ja antoisasta ajasta.

Sevettijärvellä 1. tammikuuta 2007

Rakennusmestari Veijo Wallin

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	6
2. MELUSEINÄN PERUSTUKSET JA NIIDEN VALINTAPERUSTEET	7
2.1 Geoteknisiä lähtökohtia meluaitojen moduulijakoon	7
2.2 Kuormat	8
2.3 Laattaperustus	9
2.4 Paaluperustus	13
2.4.1 Yleistä	13
2.4.2 Teräsbetonipaaluperustus	14
2.4.3 Putkipaaluperustus	15
2.5 Tarkastellut perustamisvaihtoehdot	16
2.5.1 Anturaperustus	17
2.5.2 Raskas anturaelementti	17
2.5.3 Teräsbetonipaalu	17
2.5.4 Teräsputkipaalu	17
3. SEINÄRAKENTEEN VALINNAN PERUSTEET	18
3.1 Moduulijakoon vaikuttavia tekijöitä	18
3.2 Akustiset laatuvaatimukset	19
3.3 Rakennustekniset laatuvaatimukset	20
3.4 Esteettiset laatuvaatimukset	20
3.5 Tarkastellut meluseinän rakenteet	21
3.5.1 Puinen seinärakenne	22
3.5.2 Ontelolaattaseinä	23
3.5.3 Ontelolaattaseinä puuverhous	24
3.5.4 Puinen seinäelementti	25
3.5.5 teräsbetonielementtirakenteinen meluseinä	26
4. MODUULIJAON VAIKUTUS PERUSTUKSIIN	27
4.1 Moduulijaon vaikutus anturaperustuksiin	27
4.1.1 Paikallavalettu antura VE-1	27
4.1.2 Raskas anturaelementti VE-2	27
4.2 Moduulijaon vaikutus paaluperustuksiin	27
4.2.1 Yleistä	28
4.2.2 Teräsputkipaalu	28
4.2.3 Teräsbetonipaalu	30
4.3 Meluseinän perustamistavan valinta	30
4.3.1 Pelkkä meluseinä	31
4.3.2 Korkea maavalli routivasta ja pehmeästä materiaalista + meluseinä sen päälle	32
4.3.3 Matala (< 2 m) maavalli routivasta ja pehmeästä materiaalista + meluseinä sen päälle	32
4.3.4 Korkea maavalli routivasta ja kantavasta materiaalista + meluseinä sen päälle	32

4.3.5 Matala (< 2 m) maavalli routivasta ja kantavasta materiaalista + meluseinä sen päälle	33	
4.3.6 Maavalli routimattomasta ja kantavasta materiaalista + meluseinä sen päälle	33	
5. MELUSEINÄN MODUULIJAON KUSTANNUSVAIKUTUKSIA	33	
5.1 Yleistä	33	
5.2 Seinärakenteiden kustannusvertailujen perusteet	34	
5.3 Seinärakenteiden suositeltavat käyttöalueet	35	
5.4 Perustusten kustannusvertailujen perusteet	35	
5.5 Moduulimitan vaikutukset	35	
6. MELUSEINÄN KUSTANNUKSET	37	
6.1 Perustamisvaihtoehdot	37	
6.2 Yläpuolinen seinärakenne	42	
7. YHTEENVETO	44	
Lähdeluettelo		
LIITTEET		
Liite 1	TIEL:n tyypikuva	45
Liite 2a	Parma Oy:n tyypikuva	46
Liite 2b	Parma Oy:n tyypikuva	47
Liite 4a	TIEL:n tyypikuva	48
Liite 4b	Parma Oy:n tyypikuva	49
Liite 4c	Siivellinen teräsputkipaalu/16/	50
Liite 5	Suunnitelma ”Sääksjärven melusuojaus”	51
Liite 6	Versowood Oy:n tyypikuva	52

MELUSEINIEN MODUULIJAON VAIKUTUKSET RAKENTEISIIN, PERUSTUKSIIN JA KUSTANNUKSIIN

1. JOHDANTO

Monet eurooppalaiset pitävät liikenteen, teollisuuden ja vapaa-ajantoiminnan aiheuttamaa ympäristömelua tärkeimpänä paikallisena ympäristöongelmana erityisesti kaupunkialueilla. Yleisesti toimenpiteet ympäristömelun vähentämiseksi ovat kuitenkin olleet vähemmän tärkeitä kuin muiden ympäristöongelmien kuten ilman ja veden saastumista koskevat toimenpiteet.

Melualtistuksesta käytettävissä olevat tiedot ovat yleensä huonot verrattuina muiden ympäristöongelmien mittausta koskeviin tietoihin, ja niitä on usein vaikea verrata mitta- ja arviointimenetelmien eroavuuksien vuoksi. On kuitenkin arvioitu, että noin 20 prosenttia väestöstä kärsii melutasoista, joita tiedemiehet ja terveydenhoidon ammattilaiset eivät pidä hyväksyttävänä ja jotka ärsyttävät useimpia ihmisiä ja häiritsevät unta ja joiden on pelättävä aiheuttavan haitallisia terveysvaikutuksia/14/.

Hyvin monissa tutkimuksissa on tarkasteltu melun ja erityisesti liikenteen melun yhteiskunnalle aiheuttamia ulkoisia kustannuksia, jotka arvioidaan 0,2 prosentiksi BKT:stä /14/.

Tässä työssä käsitellään yleisimpiä meluseinä rakenteita sekä perustamistapoja. Opinnäytetyö sisältää eri seinätyypeille ja perustamistavoille lasketut kustannukset, jonka perusteella voidaan sulkea pois kalleimmat rakenteet ja keskittyä kahden edullisimman rakenteen vertailemiseen. Kahden edullisimman väliset kustannukset selvitetään tarjousvaiheessa tarkemmin.

Työ koostuu osittain ammattijulkaisuista saatavasta materiaalista. Lisäksi materiaalia on kerätty aikaisemmin tehdyistä selvityksistä. Työssä on myös käytetty hyväksi erilaisia Tiehallinnon julkaisuja sekä tavarantoimittajien antamia hinnastoja. Tietoja on myös kerätty valtakunnallisten meluntorjuntapäivien aineistoista. Tässä selvityksessä jatkettiin keskeneräiseksi jäänyttä selvitystä, jonka geotekniset selvitykset ovat tehneet Mauri Kulman Tieliikelaitos 2001-2003 ja Pirjo Hietala Tieliikelaitos 2003-2004. Osan selvityksistä on tehnyt Jouni Ala-Laurinaho. Osan aikaa projektin projektipäällikkönä toimi Juha Noeskoski. Työn teettäjänä ja rakentamisen asiantuntijana on toiminut insinööri, projektipäällikkö Veikko Ranta sekä hänen alaisensa.

Selvityksen tavoitteena oli tutkia meluseinän moduulijaon vaikutusta kustannuksiin ja rakennetekniikkaan.

Tässä selvityksessä tutkittiin viiden yleisimmän seinätyypin kustannukset ja rakenneratkaisut.

Perustamistavoista selvitettiin yleisimpien vaihtoehtojen rakenne- ja kustannusvaikutukset.

Selvitys on tehty Tieliikelaitoksen tarjouslaskijoille apuvälineeksi suunnittele- ja rakenna hankkeiden tarjouslaskentavaiheeseen.

Selvitys on tehty kolmivaiheisesti. Ensimmäisessä vaiheessa on selvitetty eri moduulijaon vaikutuksia rakennetekniikkaan ja toisessa vaiheessa moduulijaon

vaikutuksia kustannuksiin. Kolmannessa vaiheessa koottiin yhteen jokaisesta rakenneratkaisusta kaksi edullisinta.

Selvityksessä tarkasteltiin yleisimpiä käytössä olevia moduulimittoja, meluseinän korkeuksia ja perustamistapoja jotka ovat seuraavat:

- käytetyt moduulijaot ovat 4 m, 6 m, 8 m, 10 m ja 12 m.
- tutkittujen meluseinien korkeudet ovat 1.8, 2 ja 3 metriä.
- kuormina on käytetty aurasuormaa ($P=15 \text{ kN } 2 \times 2 \text{ m}^2$ alalle) tai tuulikuormaa ($w=1,0 \text{ kN/m}^2$).
- perustuksina on vertailtu paikallavalettua anturaa tai elementtinä valmistettua teräsbetonista anturaa, teräsbetonista lyöntipaalua ja teräspalkkipaalia (pituudet 5 ja 15 metriä).
- seinärakenteena on tutkittu puurunkoista seinää, ontelolaattaseinää sekä teräsbetonista elementtiä.

Lisäksi on selvitetty sokkelin vaikutukset (sokkeli on tai ei).

Kustannukset on selvitetty sillanrakennustöiden yksikköhintoja (Tiehallinto, Sillan kustannusarvio, ISBN 951-726-865-3, Helsinki 2001) käyttäen. Lisäksi on käytetty meluseinätoimittajien vuonna 2004 antamia ohjeellisia hintoja, joihin vaikuttaa toteuttavan kohteen koko ja rakentamisen ajankohta. Kaikki hinnat ovat vuoden 2001 hintatasoa, eikä niitä ole korjattu indeksillä.

Meluseinät on aina suunniteltava tapauskohtaisesti. Tässä esitetyt ratkaisut ovat suuntaa antavia vaihtoehtoisia rakenteita.

2. MELUSEINÄN PERUSTUKSET JA NIIDEN VALINTA PERUSTEET

2.1 Geoteknisiä lähtökohtia meluaitojen moduulijakoon

Tyypipiirustukset

Meluseinien perustuksien tyypipiirustukset on esitetty ohjeessa: Meluesteperustukset (TIEL 2140007). Melusteiden maanvaraisten ja paalutettujen laattojen geotekninen mitoitus tehdään mainitun ohjeen mukaan. Geoteknistä mitoitus pilari- ja paaluperustuksissa käsittelee ohje ”Sivukuormitetut pilariperustukset (TIEH 2100006-01)”.

Selvityksessä esitetyt perustamistavat perustuvat julkaisuun

”MELUESTEPERUSTUKSET TIEL 2140007-94”.

”Meluesteperustukset” sisältää melusteiden perustusten mitoitusperusteet.

Kuormat on julkaisun Meluseinät, Rakennetekniset laatuvaatimukset mukaiset.

Meluseinien perustuksia varten on laadittu tyypipiirustukset Ty 951...64.

Pohjaolosuhteet

Tutkitut vaihtoehdot soveltuvat erilaisiin pohjaolosuhteisiin, mikä tulee huomioida kustannuksia arvioitaessa. Anturaperustus tai anturaelementti soveltuu lähinnä kitkamaalle ja rajoitetusti koheesiomaille. Teräsbetonipaalua ja teräsputkipaalua käytetään pehmeillä. Teräsputkipaalun sivukapasiteettia voidaan parantaa esitetyillä tukisiivikkeillä.

Perustusten mitoitus

Perustukset mitoitetaan kantamaan meluesteen kuormat. Anturaperustus mitoitetaan vaakakuormien (tuuli/auraus) kaatavalle momentille. Pilari- ja paaluperustuksien tulee kestää vaakakuormat pohjamaan ja/tai ympäristäytön antaman sivuttaisvastuksen avulla.

Routiminen

Routanousujen rajoittamiseksi siirtymäkiilasyvyyden yläpuolella maa ei saa olla routivaa tai perustukset on routasuojattava. Pakkasmäärä ja lumipeite vaikuttavat mitoitukseen.

Paalukoko

Selvityksessä ei ole mitoitettu teräsputkipaalun kokoa ja pituutta eri moduulimitoilla tietyissä pohjasuhteissa. Vertailtavalla teräsbetonipaalulla ei ole vastaavaa mahdollisuutta poikkileikkauksen optimointiin.

2.2 Kuormat

Aurous ja tuulikuormat ovat julkaisun Meluesteet, Rakennetekniset laatuvaatimukset TIEL 793604/1990 mukaiset.

Tuulikuorma on 1 kN/m^2 koko seinän alalle. Auraslumikuorma on julkaisun suurin arvo 15 kN , joka kohdistuu $2 \times 2 \text{ m}^2$ alalle. Resultantin korkeus on $1,5 \text{ m}$ tien pinnasta, kuitenkin enintään 1 m meluesteen yläreunan alapuolella. Aurasukuorma on eriaikainen tuulikuorman kanssa /9/.

Aurasukuorman aiheuttama momentti on laskettu seuraavin oletuksin, tasamaalla tien pinta on meluesteen korkeudesta $2, 3$ tai 4 m riippuen $-0,5, 0,5$ tai 1 m meluseinän alareunaa ylempänä. Aurasukuorman aiheuttamasta momentista tulee pienempi, jos tien pinta on edellä esitettyä alempana. Luiskassa 2 metrin korkuinen este sijaitsee tien reunassa, 3 metrin korkuinen este $1,5 \text{ metrin}$ ja 4 metrin korkuinen 3 metrin etäisyydellä tien reunasta. Resultantin korkeus esteen alareunasta on laskettu luiskakaltevuuden $1:3$ tai $1:1,5$ perusteella. Meluvallin päällä olevan meluseinän resultantti osuu meluesteen alareunaan, jolloin aurasukuorma jää aina tuulikuormaa pienemmäksi.

Jos tie on edellä esitettyä alempana meluesteen alareunaan nähden, voidaan aurasukuorman aiheuttama momentti laskea tapauskohtaisesti. Silloin voidaan käyttää usein pienempää perustusta. Sama koskee tapauksia, joissa meluesteen etäisyys tiestä on suuri tai aurasnopeus on pieni /9/.

2.3 Laattaperustus

Laattaperustuksilla on tarkastelun lähtökohtana ollut seuraavat tapaukset:

Laatan alla on vähintään 1,5 metrin paksuinen kerros koheesiomaata, jonka siipikairauksella mitattu leikkauslujuus on 20 tai 30 kN/ m² tai kitkamaata, jonka kitkakulma on 32°. Kalliolla käytetään kaatumisvarmuuden vuoksi samankokoista laattaa kuin kitkamaalla.

Varmuus kaatumista ja liukumista vastaan on 1,5. Kitkamaalla kaatumisvarmuus on määräävä, koheesiomaalla yleensä pohjan kantavuus.

Laatan päällä olevien massojen tilavuuspaino on valmiissa rakenteessa keskimäärin vähintään 16 kN/ m³. Tähän päästään kaikilla kivennäismaalajitytteillä.

Taulukoissa 1, 2 ja 3 on esitetty laatan estettä vastaan kohtisuora pituus L eri perustamistapauksissa. Perustuksen esteensuuntainen sivu on puolet pidemmästä sivusta, kuitenkin vähintään 0,9 metriä. Annettu mitta koskee vain tietyn painoisia melusteita. Interpoloitaessa väliarvot pyöristetään ylöspäin. Kitkamaalla kevyempi este vaatii yleensä suuremman laatan kuin raskas; koheesiomaalla on päinvastoin. Taulukossa esteen paino sisältää kaikki rakenteet, jotka tukeutuvat perustukseen, ilman laattaan kuuluvan holkin ja holkin sisälle upotetun pilarin alapään painoa.

Laatan paksuudeksi on valittu 350 mm:ä, joka sopii erityisesti paikalla valuun. Elementtilaatat tehdään yleensä ohuemmiksi. Ohut 200 mm:n paksuinen laatta maatytytteineen on 1,4 kN/m kevyempi kuin 350 mm:n paksuinen. Ohutta laattaa käytettäessä seinän vähimmäispainon on oltava suurempi tai laatan päälle tehdään raskaampi, keskimäärin vähintään 18 kN/m täyte.

Laatan ja siihen kuuluvan holkin mitat on esitetty tyyppipiirustuksissa.

Seinän keskilinja tulee laatan keskelle. Poikkeuksena on luiska 1:1,5 /4/.

Taulukko 1. Maavaraisen laatan estettä vastaan kohtisuoran sivun pituus L. Meluseinän jännemitta on 8 m ja perustamissyvyys 1,2 m ja 2,0 m. /4/

Mitoitusperuste:		Perustamissyvyys 1,2 m		Perustamissyvyys 2,0 m	
Seinän korkeus Perustamistapaus (m) (kohta 4.1)		Tuuli- kuorm. (kNm) ¹⁾	Laatan sivu L seinän paino ²⁾ (m/kN)	Tuuli- kuorma (kNm) ¹⁾	Laatan sivu L seinän paino ²⁾ (mm/kN)
2,0	koheesiomaa tasamaa, $s_u=20$	20	2100/20 ... 2400/70 ⁴⁾	33	2400/20 ... 2700/70
	tasamaa, $s_u=30$	20	2000/20 ... 70 ³⁾	33	2000/20 ... 2200/70
2,0	kitkamaa 32 ⁰ tasamaa	20	1700/20 ... 1300/70	33	1800/20 ... 1300/70
	luiska 1:3	20	2200/20 ... 1900/70	33	2000/20 ... 1600/70
	luiska 1:1,5	20	3200/20 ... 3800/70	33	2700/20 ... 3000/70
	valli	20	2800/20 ... 2600/70	33	2100/20 ... 1600/70
3,0	koheesiomaa tasamaa, $s_u=20$	42	2600/30 ... 2800/100	61	2800/30...3200/100
	tasamaa, $s_u=30$	42	2400/30 ... 100	61	2400/30...2600/100
3,0	kitkamaa 32 ⁰ tasamaa	42	2100/30 ... 1600/100	61	2200/30...1700/100
	luiska 1:3	42	2600/30 ... 2300/100	61	2400/30...2000/100
	luiska 1:1,5	42	3800/30 ... 4200/100	61	3300/30...3800/100
	valli	42	3400/30 ... 3100/100	61	2600/30...2000/100
4,0	koheesiomaa tasamaa, $s_u=20$	72	3000/40 ... 3300/140	98	3200/40...3700/140
	tasamaa, $s_u=30$	72	2800/40 ... 140	98	2800/40...3000/140
4,0	kitkamaa 32 ⁰ tasamaa	72	2500/40...2000/140	98	2500/40...2000/140
	luiska 1:3	72	3000/40 ... 2600/140	98	2800/40...2400/140
	luiska 1:1,5	72	4200/40 ... 5200/140	98	4000/40...4800/140

1) Tuuli- ja aurasuorman momentit on laskettu laatan holkin yläpintaan, jonka syvyys maanpinnasta on 0,25 ja 1,05 m perustamissyvyydestä riippuen.

2) Taulukko on laskettu 350 mm paksuisen betonilaatan mukaan. Jos laatan paksuus on 200 mm, seinän vähimmäispaino on 3 kN taulukossa esitettyä suurempi, kun laatan $L < 2400$; 5 kN taulukossa esitettyä suurempi, kun laatan $L = 2400 \dots 3000$; 10 kN taulukossa esitettyä suurempi, kun laatan $L = 3700$ ja 15 kN taulukossa esitettyä suurempi, kun laatan $L = 4600$, ellei painoa hankita raskaammalla täytteellä.

3) Merkintä tarkoittaa, että laatan mitta L on 2000 mm, kun seinän paino on 20 ... 70 kN.

4) Merkintä tarkoittaa, että laatan mitta L on 2100 mm, kun seinän paino on 20 kN ja L on 2400 mm, kun seinän paino on 70 kN. Väliarvot interpoloidaan.

Taulukko 2. Maanvaraisen laatan estettä vastaan kohtisuoran sivun pituus L.
Meluseinän jännemitta on 4 m ja perustamissyvyys 1,2 m. /4/

Mitoitusperuste:		Tuulikuorma		Aurakuorma	
Seinän korkeus Perustamistapaus (m) (kohta 4.1)		Tuuli- kuorma (kNm) ¹⁾	Laatan sivu L seinän paino ²⁾ (m/kN)	Auraus- kuorma (kNm) ¹⁾	Laatan sivu L seinän paino ²⁾ (mm/kN)
2,0	koheesiomaa				
	tasamaa, $s_u=20$	10	1600/3 ... 37 ³⁾	19	2200/3 ... 37
	tasamaa, $s_u=30$	10	1500/3 ... 37	19	2000/3 ... 1800/37 ⁴⁾
2,0	kitkamaa 32°				
	tasamaa	10	1500/3 ... 1000/37	19	2000/3 ... 1500/37
	luiska 1:3	10	1500/3 ... 37	17	2000/3 ... 37
	luiska 1:1,5	10	auraus määrää	17	2700/5 ... 13
	valli	10	2400/3 ... 2100/37	0	tuuli määrää
3,0	koheesiomaa				
	tasamaa, $s_u=20$	21	2000/4,5 ... 54	34	2400/4,5 ... 54
	tasamaa, $s_u=30$	21	2000/4,5 ... 54	34	2300/4,5 ... 2100/54
3,0	kitkamaa 32°				
	tasamaa	21	2000/4,5 ... 1300/54	34	2300/4,5 ... 1700/54
	luiska 1:3	21	2000/4,5 ... 54	34	2300/4,5 ... 54
	luiska 1:1,5	21	auraus määrää	28	2900/7,5 ... 20
	valli	21	2900/4,5 ... 54	0	tuuli määrää
4,0	koheesiomaa				
	tasamaa, $s_u=20$	36	2400/6 ... 71	41	2600/6 ... 71
	tasamaa, $s_u=30$	36	2300/6 ... 71	41	2400/6 ... 2200/71
4,0	kitkamaa 32°				
	tasamaa	36	2300/6 ... 1500/71	41	2400/6 ... 1600/71
	luiska 1:3	36	2300/6 ... 1900/71	41	2400/6 ... 71
	luiska 1:1,5	36	auraus määrää	39	3100/10 ... 25

1) Tuuli- ja aurakuorman momentit on laskettu laatan holkin yläpintaan, jonka syvyys maanpinnasta on 0,25 m.

2) Taulukko on laskettu 350 mm paksuisen betonilaatan mukaan. Jos laatan paksuus on 200 mm, seinän vähimmäispaino on 3 kN taulukossa esitettyä suurempi, kun laatan L < 2400, ja 5 kN taulukossa esitettyä suurempi, kun laatan L = 2400 ... 3000, ellei painoa hankita raskaammalla täytteellä.

3) Merkintä tarkoittaa, että laatan mitta L on 1600 mm, kun seinän paino on 3 ... 37 kN

4) Merkintä tarkoittaa, että laatan mitta L on 2000 mm, kun seinän paino on 3 kN ja L on 1800 mm, kun seinän paino on 37 kN. Väliarvot interpoloidaan.

Taulukko 3. Maanvaraisen laatan estettä vastaan kohtisuoran sivun pituus L. Meluseinän jännemitta on 4 m ja perustamissyvyys 2,0 m./4/

Mitoitusperuste:		Tuulikuorma		Aurakuorma	
Seinän korkeus Perustamistapaus (m) (kohta 4.1)		Tuuli- kuorma ₁₎ (kNm)	Laatan sivu U seinän paino ₂₎ (m/kN)	Auraus- kuorma ₁₎ (kNm)	Laatan sivu U ₂₎ seinän paino (mm/kN)
2,0	koheesiomaa				
	tasamaa, $s_u=20$	16	1800/3...37 ³⁾	31	2200/3 ... 2400/37 ⁴⁾
2,0	tasamaa, $s_u=30$	16	1500/3 ... 37	31	2000/3 ... 37
	kitkamaa 32°				
	tasamaa	16	1500/3 ... 1000/37	31	2000/3 ... 1600/37
	luiska 1:3	16	1500/3 ... 37	31	1800/3 ... 37
	luiska 1:1,5	16	auraus määrää	26	2400/5 ... 13
	valli	16	1900/3 ... 1600/37	26	tuuli määrää
3,0	koheesiomaa				
	tasamaa, $s_u=20$	31	2300/4,5 ... 54	46	2400/4,5 ... 2600/60
3,0	tasamaa, $s_u=30$	31	2000/4,5...54	46	2200/4,5 ... 54
	kitkamaa 32°				
	tasamaa	31	1900/4,5 ... 1300/54	46	2200/4,5 ... 1700/54
	luiska 1:3	31	1900/4,5 ... 54	46	2100/4,5 ... 54
	luiska 1:1,5	31	auraus määrää	37	2500/4,5 ... 2300/20
	valli	31	2200/4,5 ... 54	0	tuuli määrää
4,0	koheesiomaa				
	tasamaa, $s_u=20$	49	2600/6 ... 71	53	2600/6 ... 2800/71
4,0	tasamaa, $s_u=30$	49	2300/6 ... 71	53	2400/6 ... 71
	kitkamaa 32°				
	tasamaa	49	2200/6 ... 1700/71	53	2200/6 ... 1700/71
	luiska 1:3	49	2200/6 ... 1800/71	53	2200/6 ... 1800/71
	luiska 1:1,5	49	auraus määrää	48	2800/10 ... 2600/25

- 1) Tuuli- ja aurakuorman momentit on laskettu laatan holkin yläpintaan, jonka syvyys maanpinnasta on 1,05 m.
- 2) Taulukko on laskettu 350 mm paksuisen betonilaatan mukaan. Jos laatan paksuus on 200 mm, seinän vähimmäispaino on 3 kN taulukossa esitettyä suurempi, kun laatan L < 2400, ja 5 kN taulukossa esitettyä suurempi, kun laatan L = 2400 ... 3000, ellei painoa hankita raskaammalla täytteellä.
- 3) Merkintä tarkoittaa, että laatan mitta L on 1800 mm, kun seinän paino on 3 ... 37 kN
- 4) Merkintä tarkoittaa, että laatan mitta L on 2200 mm, kun seinän paino on 3 kN ja L on 2400 mm, kun seinän paino on 37 kN. Väliarvot interpoloidaan.

2.4 Paaluperustus

2.4.1 Yleistä

Mitoituksessa käytettäviä maaparametreja on esitetty ohjeessa Sivukuormitetut pilariperustukset. Paalun geoteknisen kantavuuden ja sivukapasiteetin arviointia on tehty LPO-2005 Lyöntipaalutusohjeet, jotka eivät ole muuttuneet näiltä osin vanhemmasta ohjeesta, SPO-2001 Suurpaalutusohje 2001 ja RR-Paalutusohjekirjan (Rautaruukki) perusteella. Arvioilla annetaan suuntaa vaihtoehtojen käyttökelpoisuudesta ja perustukset tulee suunnitella tapauskohtaisesti.

Paaluperustuksen rakenteellinen suunnittelu käsittää paalujen mitoituksen sekä kantavuus-, vakavuus- ja siirtymätarkastelut. Kantavuustarkasteluun kuuluu paaluvoimien laskeminen eri suunnittelukuormituksista sekä tulosten vertaaminen sallittuihin arvoihin kaikissa kysymykseen tulevissa kuormitustilanteissa. Vakavuustarkastelu käsittää sekä yksittäisen paalun että koko perustuksen kriittisten kuormien laskemisen. Koko perustuksen vakavuutta tarkasteltaessa tulee lähinnä kysymykseen eri kuormitustapauksia vastaavien kuormaresultanttien kriittisten arvojen määrittäminen. Vakavuustarkastelu on suoritettava varsinkin hyvin pehmeässä kuormitusten aiheuttamat perustuksen siirtymät, jotka johtuvat sekä paalujen kimmoisista muodonmuutoksista (tukipaalut) että perusmaassa ajan mittaan tapahtuvista muutoksista (kitka- ja koheesiopaalut). Myös paalutustyön epätarkkuudesta johtuvien paalujen aseman ja kaltevuuksien poikkeamien vaikutus perustuksen toimivuuteen on otettava huomioon.

Lyöntipaalutusohjeissa paalutustyöt jaetaan paalutusluokkiin I, II ja III. Paalutusluokkaa määritettäessä otetaan huomioon rakennuskohteen luonne, pohjatutkimusten seikkaperäisyys, paalujen laatu, käytettävä paalutuskalusto sekä paalutustyön suorituksen ja valvonnan laatu ja tarkkuus. Paalutusluokassa I näitä seikkoja koskevat määräykset ovat vaateliaimmat ja luokassa III lievimmät - paalutusluokka I onkin paalutustöiden erityisluokka. Paalutusluokka I jaetaan paalujen geoteknisen kantavuuden ja paalutuksen tarkastustoimenpiteiden perusteella vielä alaryhmiin IA ja IB. Mitä vaativampaan paalutusluokkaan kohde kuuluu, sitä tarkempia rajoituksia paaluille ja paalutuskalustolle annetaan ja sitä yksityiskohtaisemmin pohjatutkimukset on tehtävä. Tavanomaiset paaluperustukset tehdään paalutusluokkien II ja III mukaan.

Paalutusluokkien I ja II rakenteet kuuluvat rakenneluokkaan 1 ja paalutusluokan III rakenneluokkaan 2 /13/.

Staattisen toimintatapansa perusteella paalut jaetaan tuki-, kitka- ja koheesiopaaluihin. Kaikkia näitä paaluja käytetään meluseinien perustamiseen.

Kitkapaalussa paalun kuorma välittyy ympäröivään kitkamaahan pääosin paalun vaippapinnan ja maan välisen hankauksen avulla sekä vähemmässä määrin myös paalun kärkituennalla.

Koheesiopaalun kuorma välittyy paalua ympäröivään koheesiomaahan käytännöllisesti katsoen kokonaan paalun vaippapinnan ja ympäröivän maan välisen koheesion avulla. Näitä paalutyyppejä voidaan käyttää vain, kun maaperässä oleva kitka- tai vastaavasti koheesiomaakerros on erityisen paksu. Tämän takia ko. paalutyyppejen käyttö on rajoitettua - varsinkaan betoni- tai teräspaalujen käyttö koheesiopaaluina ei ole taloudellisesti kannattavaa normaaliolosuhteissa.

Tukipaalut tukeutuvat kallioon tai tiivisrakenteiseen pohjakerrostumaan, johon paalukuorma välittyy pääasiassa paalun kärjen kautta. Tällaisen paalun toimintatapa on helppo ymmärtää ja toimintakelpoisuus useimmiten yksiselitteistä todeta. Koska paaluperustuksen käyttöön päädytään tavallisesti silloin, kun perusmaa on löyhää ja sen kantavuus heikko, ei paaluihin synny poikittaisia rasituksia tai niiden vaikutus voidaan vähäisenä jättää huomiotta. Myös kitkan ja koheesion vaikutus kovaan pohjaan asti lyödyillä tukipaaluilla jätetään tavallisesti huomiotta ja otaksutaan paaluvoima vakioksi koko paalun pituudella.

Valittaessa toimintatavaltaan erilaisten paalutyyppejen välillä vaikuttavat ratkaisuun ensisijaisesti rakennuspaikan pohjasuhteet ja meluseinän asettamat vaatimukset.

2.4.2 Teräsbetonipaaluperustus

Teräsbetonipaalut ovat nykyään ylivoimaisesti käytetyimpiä lyöntipaaluja, niiden osuus kaikista rakennetuista paaluista on Suomen betoniyhdistyksen mukaan n.80 %. Ne ovat lähes aina tehdasvalmisteisia ja yleensä ns. normaalipaaluja, jolloin ne on mitoitettu valmiiksi nostoa, kuljetusta ja lyöntirasituksia silmällä pitäen. Jos perustuksen paaluihin kohdistuu taivutusta, leikkausvoimaa tai vääntöä, on paalut mitoittettava erikseen näille rasituksille Suomen rakentamismääräyskokoelman betonirakenteita koskevien ohjeiden mukaan. Lisäksi paalujen mitoittamisessa on kiinnitettävä erityistä huomiota paalun suuren pituuden (yli 12 metriä) ja mahdollisten jatkosten vaikutuksiin paalun raudoitukseen. Paalut on varustettava Suomen rakentamismääräyskokoelman betonielementtien valmistusta koskevien ohjeiden mukaisilla merkinnöillä ja lisäksi paalun nostokohta ja ne kohdat, joista paalu tuetaan varastoitaessa, on merkittävä selvällä ja pysyvällä merkinnällä.

Teräsbetonipaalujen tavallisin poikkileikkaus on neliö, jonka sivupituus on 250 mm:ä tai 300 mm:ä. Teräsbetonipaalujen valmistukseen käytettävän betonin suunnittelulujuuden tulee olla paalutusluokasta riippuen K45 tai K50.

Taulukko 4. Esimerkkejä teräsbetonipaaluista./19/

Paalun pituus L [m]	250 × 250 mm ²	300 × 300 mm ²
	Pääteräkset A 500 H	Pääteräkset A 500 H
≤ 10	4 ϕ 12	8 ϕ 10 (4 ϕ 16)
...		
13	4 ϕ 16	4 ϕ 10 + 8 ϕ 12 (4 ϕ 20)
...		
16	8 ϕ 12 (4 ϕ 20)	4 ϕ 10 + 8 ϕ 12 (4 ϕ 20)

Paaluperustus kestää vaakakuormat ympäristäytön antaman sivutuen avulla. Edelleen paalun tulee kestää pystykuormat.

Teräsbetonipaalutusta voidaan käyttää paikoissa, joissa siipikairalla mitattu leikkauslujuus on vähintään 10 kN/ m²/4/.

Seinän ollessa normaalia painavampi tarkistetaan pystykapasiteetti taulukosta TIEL 2140007 taulukko 8 /4/.

2.4.3 Putkipaaluperustus

Putkiperustus on alapäästä avoimena maahan painettava teräsputki, joka kestää vaakakuormat pohjamaan antaman sivuvastuksen avulla ja toimii pystykuormien suhteen koheesiopaaluna. Putken maahan painaminen tehdään hydraulisella kaivinkoneella.

Putkiperustusta voidaan käyttää savikolla, jossa siipikairalla mitattu leikkauslujuus on välillä 10 - 20 kN/m² . Pohjaveden taso ei vaikuta mitoituseseen /10/.

Putken alapää saa ulottua kantavampaankin kerrokseen, mutta sivuvakavuuden vuoksi koko mitoituspituus on saatava uppoamaan maahan, joten maa ei saa olla tiivistä eikä kivistä /10/.

Käytettävä putki on teräsputkipaalu ja teräslaji on Fe 52 D. Putkiperustuksen mitat on esitetty tyyppipiirustuksessa Ty 9/61. Mikäli seinä on valmistettu betonielementeistä tarkistetaan pystykapasiteetti. Putkiperustusta voidaan käyttää myös luiskissa ja valleissa joiden materiaalin on oltava kivennäismaata ja putkella läpäistävissä.

Teräsputkipaalujen teräslaatua valittaessa tulee ottaa huomioon maan ja pohjaveden ominaisuudet niin, että paalujen korroosiovaara on mahdollisimman pieni. Lisäksi teräksen tulee olla laadultaan sellaista, että lyönnin aikana ei synny hauras- tai väsymismurtumia. Paalun ollessa osittain vedessä, ilmassa tai muuten ilman riittävää sivutukea on paalun nurjahdusvaara otettava huomioon teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaisesti.

Teräsputkipaaluja käytettäessä on selvitettävä paalujen mahdollinen korroosiovaara erityisesti, jos maa tai vesi otaksutaan syövyttäväksi (esim. lieju, jätetäyte tai meri- tai jätevesi). Korroosion varalta voidaan teräspaalujen mitoituksessa varautua normaalitilanteessa pohjaveden alapuolella korroosionopeuteen 2 - 5 mm:ä 100 vuodessa./16/ Teräsputkipaalut ylimitoitetaan tätä silmällä pitäen, käytetään sopivasta erikoisteräksestä tehtyjä paaluja tai varustetaan teräspaalut katodisuojauskella.

Teräsputkipaaluja voidaan jatkaa hitsaamalla sekä pulttijatkoksia. Jatkoksella tulee olla vähintään sama lyönninkestävyys sekä puristus- ja taivutuskestävyys kuin varsinaisella paalulla. Lisäksi jatkosmateriaalien (hitsin, pulttien ja aluslevyjen) tulee ainekoostumukseltaan olla sellaisia, että korroosiovaara ei olennaisesti lisäännä. Myöskään paalun suunnanmuutos jatkoksessa ei saa ylittää paalutusluokan mukaisia ohjeita /10/.

2.5 Tarkasteltavat perustamisvaihtoehdot

Tarkasteltavaksi otettiin neljä yleisintä käytössä olevaa perustamistapaa. Perustukset eivät sisällä jännevälien sokkeliin liittyviä töitä.

Paikallavalettun / elementtiperustuksen kustannukset

Vaihtoehtojen 1 ja 2 kustannusero voi olla käytännössä esitettyä pienempi. Suurissa hankkeissa, joissa valmistetaan yli 200 elementtiä, elementtitehtaiden välille muodostuu todellista kilpailua ja näin ollen elementtivaihtoehto muodostuu kilpailukykyiseksi.

Teräsbetonipaalun kustannuksien muodostuminen

Teräsbetonipaalun hinta on selvityksen mukaan hyvin kilpailukykyinen. Paalutuskoneen siirto nostaa pienissä kohteissa merkittävästi kustannuksia. Paalun jatkokset, paalukärjet tai yli pitkät paalut nostavat kustannuksia.

Teräsputkipaalun kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä

Tarkasteltaessa teräsputkipaaluperustuksen kustannuksia joudutaan jännemitan kasvaessa kasvattamaan paalukokoa ja pituutta riittävän sivukapasiteetin saavuttamiseksi. Paalukoko ja pituus vaikuttavat materiaalimenekkiin (hinta/kg) ja lyöntityöhön (hinta/m), mutta muiden suoritteiden osuus ei muutu merkittävästi. Esitetty tyypipaaalu on optimaalinen tietyihin pohjaolosuhteisiin tietyllä jännemitalla. Teräsputkipaalulla perustettaessa moduulimitta ei vaikuta perustuskustannuksiin niin merkittävästi kuin vertailu esittää, kun paalun koko ja pituus ei kasva jännemitan mukana.

Tässä tarkastelussa perustukset on huomioitu meluseinän moduulin mukaan, kustannusten tullessa kertaluontoisesti yksi per / jännemitta, jolloin ne saadaan jaettua kokonaiskustannustarkasteluna € / jännemitta.

2.5.1 Anturaperustus (V-E 1a ja V-E 1b)

Paikalla valettu antura sekä elementtirakenteinen perustus mitoiltaan 2200 x 1000 x 250 mm³, keskellä pilarinosto 500 x 500 x 500 mm³. Sisältävät perustuksen kaivutyöt ja täytöt routimattomasta materiaalista. Liitteessä 1 on selostettu laattaperustuksen tekeminen.

2.5.2 Raskas anturaelementti (V-E 2)

Raskas anturaelementti 2000 x 1800 mm², tehdasvalmiina. Sisältävät perustuksen kaivutyöt ja täytöt routimattomasta materiaalista. Liitteessä 2a ja 2 b on selostettu elementtianaturan tekeminen.

2.5.3 Teräsbetonipaaalu 300 x 300 mm² (V-E 3)

Teräsbetonipaaalu 300 x 300 mm², 5 sekä 15 metrin pituisena. Pitkille paaluille tehdään jäykkäjatkokset. Sisältävät perustuksen kaivutyöt ja täytöt routimattomasta materiaalista. Liitteessä 4b on selostettu teräsbetonipaaluun tekeminen. Ei sisällä paalutuskoneen siirtoa.

2.5.4 Teräspankipaalu (V-E 4)

A)Teräspankipaalu Ø 114,3 mm, 5 m sekä 15 m pituisena, ainevahvuus 6,3 mm.

B)Teräspankipaalu Ø 219,1 mm, 5m sekä 15 m pituisena, ainevahvuus 6,3 mm.

C)Teräspankipaalu Ø 323,9 mm sekä 15 m pituisena, ainevahvuus 6,3 mm.

D)Teräspankipaalu Ø 219,1 mm, tukisiivekkeillä 4 kpl d 8 mm 0,2 m x 2 m, 5 sekä 15 m pituisena, ainevahvuus 6,3 mm.

Sisältävät perustuksen kaivutyöt ja täytöt routimattomasta materiaalista.

Liitteissä 4a ja 4c on selostettu teräspankipaaluuperustuksen tekeminen.

Ei sisällä paalutuskoneen siirtoa.

3. SEINÄRAKENTEEN VALINNAN PERUSTEET

3.1 Moduulijakoon vaikuttavia tekijöitä

Meluseinät suojaavat ympäristöä melulta, mutta ne muodostavat samalla tärkeän osan sitä ympäristöä, mihin ne sijoitetaan. Erityisesti pitää muistaa se, että asukkaat esteen takana katselevat sitä joka päivä

Meluseinän suunnittelussa lähtökohtana on pitää mielessä seinän tehtävä, seinästä ei saa tehdä optisesti liian raskasta toimintaansa nähden. Seinien on oltava harmonisia, arkkitehtonisia ylilyöntejä välttäviä sekä väreiltään ja muodoiltaan yksinkertaisia. Yksitoikkoisuutta on kuitenkin vältettävä. Seiniä suunniteltaessa on mietittävä, mitä ympäristöstä näkyy seinän rakentamisen jälkeen ja mistä suunnasta seinää tavallisimmin katsellaan. Rakennetun ympäristön muut materiaalit ja värit ovat lähtökohtana meluseinän arkkitehtuurille.

Perinteiset materiaalit, värit ja muodot ovat suositeltavia. Istutukset ovat tärkeitä ja kasvillisuuden käyttämiseen tulisi aina pyrkiä.

Meluseinien suunnittelu on parhaimmillaan ryhmätyötä, joka vaatii erikoisosaamista. Ratkaisuja suunniteltaessa on esteettiset vaatimukset otettava yhtä vakavasti kuin rakenteellisetkin vaatimukset.

Eri materiaaleilla on erilainen psykologinen vaikutus, riippumatta siitä, millaiseen ympäristöön ne sijoitetaan. Puu mielletään lämpimäksi, metalli kylmäksi, betoni taas ilmentää kestävyyttä ja pysyvyyttä. Materiaalien vaihtelulla saadaan rakenteeseen elävyyttä. Liian halvalta vaikuttavia materiaaleja on syytä välttää.

Värien valinta vaikuttaa suuresti meluseinän ulkonäköön ja värien käytössä on myös tehty paljon virheitä.

Väreillä on paljonkin vaikutusta ihmisen mielialaa. Meluseinissä on hyvä suosia värejä, jotka vaikuttavat katsojasta miellyttäviltä ja rauhoittavilta. Tällaisia ovat erityisesti luonnossa esiintyvät värit, ns. maavärit.

Värivalinnassa on otettava myös huomioon, miltä pinnat näyttävät huonolla säällä, pimeässä ja kuluneina. Väreillä on myös eri merkitys seinän eri puolilla. Vaihtelua voidaan enemmän käyttää asutuksen puolella, mahdollisten kuviointien tulee kuitenkin olla hillittyjä.

3.2 Akustiset laatuvaatimukset

Meluseinän tarkoituksena on vaimentaa melua suojattavassa rakenteessa. Saavutettava vaimennus riippuu meluesteen sijainnista, korkeudesta, pituudesta ja suojattavan kohteen sijainnista ja korkeudesta.

Julkaisussa ”TIEL 2140013 Meluesteiden eristävyysvaatimukset”/15/ luokitellaan kolmeen luokkaan:

- luokka B3: vähintään 25 dB
- luokka B2: vähintään 15 dB
- luokka B1: vähintään 5 dB.

Yleensä määrätään, ettei eristävyys saa heikentyä valitun vaativuustason alle meluesteen käytön aikana esimerkiksi rakoilun vaikutuksesta. Tavallisimmin eristävyyslukuvaatimukseksi valitaan 25 dB, jonka tähän tutkimukseen valitut rakenteet täyttävät.

Rakenteiden mitoittaminen tuulikuormalle edellyttää yleensä sellaisten materiaalien käyttöä, että 25 dB saavutetaan helposti.

Eristävyysluku 25 dB saavutetaan esimerkiksi seuraavilla rakenteilla:

- vähintään 20 mm vaneri
- 6 mm vaneri + 20 mm lomalaudoitus
- 1+1 mm teräslevy
- betonielementit joiden välissä on kumitiiviste.

Tärkeintä on, että rakojia tai reikiä ei ole. Edellä mainituissa rakenteissa vanheneminenkaan ei yleensä aiheuta rakoilua /15/.

Ääntä imeviä materiaaleja käytetään silloin, kun meluseinän vastakkaisella puolella on asutusta ja ääntä imemätön materiaali heijastaisi melun vastakkaiselle puolelle ja siirtäisi näin meluhaitan toisaalle.

Ääntä imeviä materiaaleja tulisi käyttää seuraavissa tapauksissa:

- vilkasliikenteisen ajoradan ja meluesteen välissä on kevyenliikenteen väylä
- tien toisella puolella on meluseinä, seinä tai tukimuuri, ja välimatka on alle 15 kertaa seinien korkeus
- tien vastakkaisella puolella on asutusta, jonka melua heijastava melueste lisääisi
- tunnelissa.

Ääntä imevien huokoisten materiaalien ongelma on huono säänkestävyys, jos niitä ei suojata kosteudelta /15/.

3.3 Rakennustekniset laatuvaatimukset

Tuuli ei saa murtaa tai taivuttaa liikaa meluseinää. Tuulikuorma lasketaan SFS-ENV 1991-2-4 mukaisesti. Jos halutaan välttää tarkemmat laskelmat, tuulikuormaksi voidaan valita 1 kN/m^2 ja silloilla $1,6 \text{ kN/m}^2$. Suojaisissa paikoissa enintään 3 m korkean meluesteen keskiosiin kohdistuu $0,8 \text{ kN/m}^2$ kuorma.

Euronormien EN 1794-1 liitteen A mukaan meluesteen tukipilari ei saa taipua enempää kuin pilarin korkeus maanpinnasta jaettuna 150. Kuormat eivät saa 1,5-kertaisenikaan aiheuttaa vaurioita rakenteisiin/11/.

Jos meluesteen etäisyys aurattavasta tiestä on alle 7 metriä, aurauksesta lentävän lumen aiheuttama kuorma voi olla suurempi kuin tuulikuorma. EN 1794-1 E:n mukaan aurauskuorman suuruus on aurausnopeudella 60 km/h 15 kN ja aurausnopeudella 50 km/h 10 kN, kun etäisyys tien reunasta on 1-4 m. Kuormat pienenevät 2,5 kN aina etäisyyden kasvaessa yhden metrin 4 m:stä eteenpäin. Aurauskuorma jakautuu tasan 2mx2m alalle /11/.

Pistemäinen 30 Nm isku ei saa EN 1794-1 C:n mukaan aiheuttaa pientä lommoa tai halkeamaa suurempaa vahinkoa. Isku kuvaa aurauksessa lentävää jäänpalaa tai pikkulasten heittämää kiveä. Isku voidaan saada aikaan pudottamalla tylppä 1,5 kg painoinen terästanko 2 m korkeudelta meluesteen tai yksittäisen elementin keskelle ja 125 mm etäisyydelle nurkista /11/.

Meluesteen on kestettävä EN 1794-1 B:n mukaan oma ja siihen kertyvän veden ja lumen paino /11/.

Meluesteen sisältämät materiaalit on vaadittaessa kuvattava EN 1794-2 C:n mukaisesti yleisin materiaalinimikkein.

Myrkyllisistä palamiskaasuista ja rakentamisen ja käytön aikana meluesteestä irtoavista haitallisista aineista on varoitettava /11/.

Meluesteen tukirakenteiden tulee kestää ilmastoa vähintään 30 vuotta, ellei muuta sovita.

3.4 Esteettiset laatuvaatimukset

Ulkonäköä koskevat laatuvaatimukset tilaaja määrittää yleensä pintamateriaalin ja värityksen osalta. Meluesteelle voidaan myöskin määrätä ulkonäkösyistä tietty jännemitta tai jännemitan ja korkeuden suhde. Jos perustamisen kannalta on edullisempi käyttää selvästi suurempaa pilariväliä, ulkonäön vaatimat lisäpilarit voidaan tehdä valepilareina. Pintamateriaaleihin ja yksityiskohtiin tulee kiinnittää erityistä huomiota, kun meluesteen vieressä oleskellaan tai liikutaan hitaasti.

Tyypillisiä pinnanmuodon määritelmiä ovat: Pystysuuntainen lomalaudoitus, pystysuuntainen rimoitus, vaakasuora pontti- tai puoliponttilaudoitus.

3.5 Tarkastellut meluseinän rakenteet

Puista runkojärjestelmää edusti tarkastelussa sahatavararakenteinen palkkirunko. Puuvuoratuista rakennejärjestelmistä tutkittiin ontelolaatta ratkaisut, lisäksi tutkittiin betonipintaiset elementtiset meluseinät. Nämä rakenneratkaisut ovat ylivoimaisesti käytetyimmät meluseinätyypit, kun ei vaadita ääntä imevää ratkaisua.

Varsinainen meluseinärakenne

Puisen seinäelementin (V-E 3) pidemmille moduulimitoille (8-12 m) on rakennetuissa kohteissa käynnissä seurantamittaukset, joilla pyritään osoittamaan, että elementit täyttävät Tiehallinnon laatuvaatimukset.

V-E 2:n toisessa liitteessä 2b on esitetty pilarivaihtoehtona myös teräsbetoninen elementtipilari, jota ei ole käytetty vertailuvaihtolaskelmissa. Kyseisen pilari on hinnaltaan n.160€/kpl.

Sokkelin vaikutus

Sokkelin hinta on selvitetty erikseen sokkelikoolle 600 x 150 x moduulimita, joka on yleisin käytössä oleva sokkelityyppi.

Sokkelin hintaan vaikuttaa lisäksi mahdollisen lisäraudoituksen tarve, joka tulee selvittää erikseen moduulimitan kasvaessa yli 6 metrin. Joissakin tapauksissa on edullisinta käyttää esijännitettyjä elementtejä.

Ontelolaatasta tehty meluseinä ei tarvitse erillistä sokkelia. Näitä hintaan vaikuttavia tekijöitä ei ole otettu huomioon tässä selvityksessä.

Yläpuolisen seinärakenteen asennus- ja kuljetuskustannukset eivät sisälly hintoihin.

3.5.1 Puinen seinärakenne (V-E 1a ja V-E 1b)

Puinen seinärakenne moduulimitoille 4 ja 6 m. Seinärakenteessa on puinen 50 x 100 mm² puutavarasta tehty vaakasuuntainen runko. Runkopuitten väli keskeltä keskelle on 300 mm. Runkorakenteen päällä molemmin puolin on 6 mm vahvat vanerilevyt. Vanerilevyjen päällä on 22 x 50 mm² puutavarasta tehty vaakarimoitus. Vaakarimoituksen päällä on verhouslaudoitus. Pystypilareina on teräksiset pilarit HE 180 A.



Kuva 1. Säöksjärven melusuojaus 2004. Puinen seinärakenne ja pilarit HE 180 (V-E 1) kuva Veijo Wallin.

3.5.2 Ontelolaattaseinä (V-E 2a ja VE-2 b)

Ontelolaattaratkaisu ilman verhousta.

Jännevälillä 4 - 8 m ontelolaatan vahvuus on 0,15 m ja 10 m

jännevälillä vahvuus on 0,2 m

Elementtimitat 1200 mm x moduulimitta.

Pilarit HE 240 A / HE 180 A.



*Kuva 2. Kehä III melusuojaus 2005. Ontelolaatta ilman verhousta (V-E 2a)
Kuva Veijo Wallin.*

3.5.3 Ontelolaattaseinä, puuverhous (V-E 3b)

Ontelolaattaratkaisu kuten V-E 2, joka on verhottu puuelementtirakenteella.
Puuelementti kiinnitetään ontelolaatan kiinnikkeisiin.



*Kuva 3. Hollolan melusuojaus 2005. Verhoiltu ontelolaatta(V-E 2b)
kuva Veijo Wallin.*

3.5.4 Puinen seinäelementti (V-E 4a,b,c,d,e)

Puinen seinäelementtirakenne moduulimitoille 4 - 12 m.
RT-kortin tyyppimalli ilman sokkelia
Pilarit vastakkaisista UPE-palkeista. Rakenne on seuraava:
-koolaus
-vuorilauta
-pintalevytys
-verhouselementti



*Kuva 4. Okeroisten melusuojaus 2004. Puinen seinäelementti (V-E 4)
kuva Veijo Wallin*

3.5.5 Teräsbetonielementti rakenteine meluseinä (V-E 5)

Teräsbetonielementti
0,15 m vahvana. Elementtimitat 1200 mm x moduulimitta.
Pilarit HE 180 A.



*Kuva 5. Rautaharkon melusuojaus 2004. Teräsbetonielementti (V-E 5)
kuva Veijo Wallin*

4. MODUULIJAON VAIKUTUS PERUSTUKSIIN

4.1 Moduulijaon vaikutus anturaperustuksiin

4.1.1 Paikalla valettu antura V-E 1

Esitetty anturaperustus soveltuu käytettäväksi kitkamailla (jännemitta 4...8 m) tasamaalla ja loivasti kaltevassa maastossa. Antura on mitoitettava tapauskohtaisesti. Meluesteen painon kasvu ei rajoita perustuksen käyttöä tasamaalla. Perustamissyvyyttä kasvattamalla kantavuus paranee ja perustusta voidaan käyttää pidemmillä jänneväleillä. Mikäli meluste sijaitsee jyrkässä luiskassa tai tien tasausviivan yläpuolella vallin päällä, anturakoko riittänee lyhyimmällä jännemitalla (4 m).

Esitetty perustus soveltuu käytettäväksi rajoitetusti koheesiomailla. Kun siipikairauksissa mitattu leikkauslujuus on $20 - 30 \text{ kN/m}^2$, perustus soveltuu keveille meluseinille lyhyillä moduulimitoilla (4 – 8 m) ja matalammassa seinätyypissä (2 m) tasamaalla. Jos koheesiomailla siipikairauksissa mitattu leikkauslujuus on pienempi kuin 30 kN/m^2 , niin korkeammalla seinätyypillä (3 m) anturakokoa tulee kasvattaa. Koheesiomailla melusuojaukseen liittyvät täytöt voivat aiheuttaa meluseinän epätasaista painumista. Perustamistapa on esitetty liitteessä 1.

4.1.2 Raskas anturaelementti V-E 2

Anturaelementti soveltuu käytettäväksi kitkamailla samoilla periaatteilla kuin laattaperustus V-E 1. Anturaelementin perustamissyvyydellä voidaan vaikuttaa anturan kapasiteettiin ottaa vastaan vaakakuormia.

Anturaelementtiä voi käyttää koheesiomailla samoilla rajoituksilla kuin laattaperustusta V-E 1. Koheesiomaassa kuivakuoren läpäisy rajoittaa enimmäispainoa oleellisesti. Anturaelementteihin voi muodostua epätasaisia painumia koheesiopohjamailla. Asennusohjeessa rajoitetaan, ettei anturan alle saa jäädä koheesiomaita.

Perustamistapa on esitetty liitteessä 2 a ja 2b.

4.2 Moduulijaon vaikutus paaluperustusten mitoitukseen

4.2.1 Yleistä

Paalun sivukapasiteetti

Paalun sivukapasiteetilla /16/ tarkoitetaan paalun kestämiä suurinta vaakakuormitusta, joka vastaa maan murtokuormaa tai paalun myötömomenttia. Sivukapasiteetti muodostuu ympäröivän maan vastuksesta ja paalun taivutusjäykkyyydestä. Sallitun sivukapasiteetin määrää suunnittelussa usein sallittu vaakasiirtymä, koska muodonmuutokset saattavat kasvaa hyvin suuriksi paljon ennen maan tai paalun murtokuormaa vastaavan sivukapasiteetin ylittymistä. Meluseinärakenteiden suunnittelussakin on lähdetty siitä, että seinien siirtymille on annettu maksimi-arvot. Teräsputkipaaluilla on muihin paalutyyppeihin verrattuna hyvä taivutuskapasiteetti. Paalun mitoituksessa vaakakuormille kannattaa hyvä taivutuskapasiteetti käyttää mahdollisimman hyvin hyödyksi.

Sivuvastus syntyy, kun paalu siirtyy ulkoisesta kuormasta johtuen maata vasten. Sivuvastuksella tarkoitetaan maamassan aiheuttamaa vastusta paalun pintayksikköä kohti. Sivuvastusta käytetään hyväksi laskettaessa paalun sivukapasiteettia. Sivupaine syntyy, kun maa siirtyy paalua vasten. Sivupainetta käytetään laskettaessa sivukuormitusta. Sivuvastus ja sivupaine riippuvat maan lujuusominaisuuksista ja tehokkaasta tilavuuspainosta. Sivuvastuksen ja sivupaineen ääriarvot määritetään maan murtotilan mukaan maanpaineteoriaan perustuen.

4.2.2 Teräsputkipaalu

Paalun kantavuus

Paalun RR115/6,3 rakenteellinen sallittu kantavuus on ≤ 310 kN. Paalun RR220/6,3 rakenteellinen sallittu kantavuus on ≤ 610 kN. Paalujen kantavuudessa on huomioitava mahdollinen korroosiovähennys, joka riippuu maaperän ominaisuuksista/10/.

Puinen meluseinä

Paalukoolla $d = 114,3$ mm (jännemitta 4 m) painokairausvastus tulee olla > 30 puolikierrosta/0,2 m, jotta saavutetaan riittävä paalun kantavuus. Heijarikairauksessa vastaava kairausvastuksen arvo on > 10 lyöntiä/0,2 m.

Paalukoolla $d = 114,3$ mm (jännemitta 10 m) painokairausvastus tulee olla vähintään 80 - 100 puolikierrosta/0,2 m, jotta saavutetaan riittävä paalun kantavuus. Heijarikairauksessa vastaava kairausvastuksen arvo on vähintään 30 - 40 lyöntiä/0,2 m.

Paalukooalla $d = 219,1$ mm (jännemitta 4 m) painokairausvastus tulee olla > 10 puolikierrosta/0,2 m, jotta saavutetaan riittävä paalun kantavuus. Heijarikairauksessa vastaava kairausvastuksen arvo on > 5 lyöntiä/0,2 m.

Paalukooalla $d = 219,1$ mm (jännemitta 10 m) painokairausvastus tulee olla > 20 puolikierrosta/0,2 m, jotta saavutetaan riittävä paalun kantavuus. Heijarikairauksessa vastaava kairausvastuksen arvo on > 5 lyöntiä/0,2 m.

Teräsbetonielementtinen melueste

Paalukooalla $d = 114,3$ mm (jännemitta 4 m) painokairausvastus tulee olla > 100 puolikierrosta/0,2 m, jotta saavutetaan riittävä paalun kantavuus. Heijarikairauksessa vastaava kairausvastuksen arvo on > 40 lyöntiä/0,2 m.

Paalukooalla $d = 114,3$ mm (jännemitta 10 m) heijarikairauksessa tulee kairausvastuksen arvo olla > 100 lyöntiä/0,2 m, jotta saavutetaan riittävä paalun kantavuus.

Paalukooalla $d = 219,1$ mm (jännemitta 4 m) painokairausvastus tulee olla > 20 puolikierrosta/0,2 m, jotta saavutetaan riittävä paalun kantavuus. Heijarikairauksessa vastaava kairausvastuksen arvo on > 5 lyöntiä/0,2 m.

Paalukooalla $d = 219,1$ mm (jännemitta 10 m, teräsbetonielementti) painokairauksessa tulee kairausvastuksen arvon olla > 100 puolikierrosta/0,2 m, jotta saavutetaan riittävä paalun kantavuus. Heijarikairauksessa tulee kairausvastuksen arvo olla > 40 lyöntiä/0,2 m.

Teräsputkipaaluille on päädytty sivukuormille mitoitettaessa paalukokoihin $193,7 \times 10,0$ mm, L 4000 mm (kitkamaa) ja $219,1 \times 10,0$ mm, L 6000 mm (koheesiomaa, su 10 kPa), kun seinän korkeus on 2,0 metriä ja jännemitta 4,0 metriä. Vastaavasti seinän korkeudelle 3,0 metriä paalukoot ovat $273,0 \times 8,0$ mm, L 4000 mm (kitkamaa) ja $273,0 \times 8,0$ mm, L 6000 mm (koheesiomaa). Vertailussa käytetty paalukoko $114,3 \times 6,3$ mm on riittävä pystykuormien suhteen, mutta on erikseen tutkittava sen sivukapasiteetti. Paalukoko $219,1 \times 6,3$ mm voi olla soveltuva kitkamaassa /16/.

Teräsputkipaalu ja tukisiivekkeet

Sivukapasiteettia voidaan lisätä parantamalla maan lujuusominaisuuksia tai tekemällä rakenteellisia ratkaisuja paaluun (kasvatetaan paalun yläosan poikkileikkausta). Routimaton tiivistetty pengeri tai tukisiivekkeet (Liite 4c) parantavat sivukapasiteettia. Tukisiivekkeiden vaikutusta on tutkittu koekuormituksissa Tampereen teknillisen korkeakoulun tutkimuksessa. Mitoitusperusteet on esitetty ohjeessa Sivukuormitetut pilariperustukset./16/

4.2.3 Teräsbetonipaalu

Paalun kantavuus

Tukipaalu

Teräsbetonipaalun sallittu geotekninen kantavuus on enintään 5 MN/m^2 (paalutusluokka III) ja 7 MN/m^2 (paalutusluokka II) tukipaaluna. Sallittu geotekninen kantavuus on siis 450 kN/paalu (paalukoko $300 \times 300 \text{ mm}^2$) ja 630 kN/paalu (paalukoko $300 \times 300 \text{ mm}^2$).

Kitkapaalu

Kitkapaalun sallittu geotekninen kantavuus määritetään tapauskohtaisesti paikallisten olosuhteiden mukaan. Sitä voidaan alustavasti arvioida esimerkiksi kairausvastuksen perusteella. Mikäli heijarikairausvastus on suurempi kuin 10 lyöntiä/0,2 m , teräsbetonipaalun kärkivastuksen voidaan arvioida olevan riittävä kaikilla vertailuilla meluseinävaihtoehtojilla (paalupituus tarkasteltava tapauskohtaisesti). Vastaavasti koheesiopaalun sallittu geotekninen kantavuus voidaan määrittää maaperän suljetun leikkauslujuuden ja kokoonpuristuvuuden perusteella tapauskohtaisesti.

Paalun sivukapasiteetti

Paalun sivukapasiteetti voidaan määrittää kitkamaalle kitkakulmasta riippuvan vaakasuoran alustalukukertoimesta saadun alustaluvun avulla. Koheesiomaassa alustaluku saadaan suljetun leikkauslujuuden perusteella.

4.3 MELUSEINIEN PERUSTAMISTAVAN VALINTA

Meluesteperustukset-ohje /4/ sisältää melusteiden perustusten mitoitusperusteet. Julkaisussa on esitetty taulukot, joista voidaan valita suoraan eri tilanteisiin sopivat perustukset. Tarkastellut perustamistavat ovat maanvarainen laatta, paalutettu laatta, pilariperustus ja putkipaalu. Ohjeessa on huomioitu myös jyrkät luiskat ja vallin päälle rakennettavat melusteet. Ohjeen liitteenä on paikalla valettuja laattoja sekä pilari- ja putkipaaluperustusta koskevat tyyppipiirustukset.

Meluesteperustukset- ohjeessa käsitellään perustamistavan valintaa, routanousujen rajoittamista ja itse perustusten mitoittamista. Perustamistavan kannalta on melusteet jaettu raskaisiin ja kevyisiin melusteisiin. Raskaat melusteet voidaan perustaa

maanvaraisen laatan avulla kitkamaakerroksen tai kuivakuorikerroksen (paksuus yli 1,5 m) varaan. pehmeillä koheesiomailla raskaat melusteet on perustettava paalutetulla laatalle. kevyiden melusteiden perustamistavoiksi soveltuvat edellisten lisäksi kitkamailla tai kuivakuoressa pilariperustus ja pehmeikössä kivettömässä koheesiomaassa teräspalkkipaalu.

Routanousujen rajoittaminen on myös otettava huomioon. Auraamattomilla ja tallaamattomilla alueilla 0,15...0,3 metrin lumipeite rajoittaa routan syvyyden noin 1 metriin. Seinäelementtien alla routanousu voi liikutella seinäelementtejä. Pilarien välisellä osuudella on routanousu rajoitettava seuraavin vaihtoehtoisin keinoin:

- Sijoitetaan kevyt (20kg/m^3) 50 mm paksuinen ja 1,2 metrin levyinen solumuovieriste esteen alle koko matkalle
- Korvataan seinän alla oleva routiva maa 0,8 metrin syvyyteen pohjastaan 0,8 metrin levyisellä routimattomalla täytöllä ja tarvittaessa mullalla.

Lapissa ja vähälumisissa paikoissa tarvitaan paksummat rakenteet.

Auratuilla alueilla routasuojaus mitoitetaan siten, ettei routiva maa jäädy tielaitoksen ohjeen mukaisen siirtymäkiilasyvyyden yläpuolelle.

Ohjeessa on mitoitettu eri vaihtoehtoja, joissa on muuttujina olleet pohjamaa, meluseinän jännemitta, perustamissyvyys, seinän korkeus ja maaston muoto.

Seuraavassa on kuvattu lyhyesti meluseinien perustamisolosuhdetyyppit ja perustamistavat.

Maavallin perustaminen on selvitettävä tapauskohtaisesti erikseen.

4.3.1 Pelkkä meluseinä

Perusmaan ominaisuudet

Perustamistapa

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Routiva, syvä pehmeä | paalutus ja routaeriste/routimaton massanvaihto kiilasyvyyteen |
| 2. Routiva, matala (< 2 m) pehmeä | anturaperustus ja massanvaihto routimattomalla kovaan pohjaan/siirtymäkiilasyvyyteen |
| 3. Routiva, kantava maaperä | anturaperustus ja routaeriste/routimaton massanvaihto siirtymäkiilasyvyyteen |
| 4. Routimaton, kantava maaperä | anturaperustus |

4.3.2 Korkea maavalli routivasta ja pehmeästä materiaalista+ meluseinä sen päälle

Perusmaan ominaisuudet

Perustamistapa

1. Routiva, syvä pehmeä ympärillä

paalutus ja routimaton täyttö paalun

2. Routiva, matala (< 2 m) pehmeä ympärillä

paalutus ja routimaton täyttö paalun

3. Routiva, kantava maaperä ympärillä

paalutus ja routimaton täyttö paalun

4. Routimaton, kantava maaperä ympärillä

paalutus ja routimaton täyttö paalun

4.3.3 Matala (<2m) maavalli routivasta ja pehmeästä materiaalista + meluseinä sen päälle

Perusmaan ominaisuudet

Perustamistapa

1. Routiva, syvä pehmeä ympärillä

paalutus ja routimaton täyttö paalun

2. Routiva, matala (< 2 m) pehmeä ympärillä

paalutus ja routimaton täyttö paalun

3. Routiva, kantava maaperä

anturaperustus ja routimaton massanvaihto perusmaan pintaan asti

4. Routimaton, kantava maaperä

anturaperustus ja routimaton massanvaihto perusmaan pintaan asti

4.3.4 Korkea maavalli routivasta ja kantavasta materiaalista + meluseinä sen päälle

Perusmaan ominaisuudet

Perustamistapa

1. Routiva, syvä pehmeä

paalutus + routimaton täyttö paalun ympärillä

2. Routiva, matala (< 2m) pehmeä

esikuormitus + anturaperustus + routaeristyslevy

3. Routiva, kantava maaperä

anturaperustus + routaeristyslevy

4. Routimaton, kantava maaperä

anturaperustus + routaeristyslevy

4.3.5 Matala (< 2m) maavalli routivasta ja kantavasta materiaalista + meluseinä sen päälle

Perusmaan ominaisuudet

Perustamistapa

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Routiva, syvä pehmeä | paalutus ja routimaton täyttö paalun ympärillä |
| 2. Routiva, matala (< 2 m) pehmeä | esikuormitus ja anturaperustus sekä routaeristyslevy |
| 3. Routiva, kantava maaperä | anturaperustus ja routaeristyslevy |
| 4. Routimaton, kantava maaperä | anturaperustus ja massanvaihto |

4.3.6 Maavalli routimattomasta ja kantavasta materiaalista + meluseinä sen päälle

Perusmaan ominaisuudet

Perustamistapa

- | | |
|------------------|----------------|
| kaikki tapaukset | anturaperustus |
|------------------|----------------|

5 MELUSEINÄN MODULIJAON KUSTANNUSVAIKUTUKSIA

5.1 Yleistä

Tarkasteltavat vaihtoehdot ovat rakenteiltaan ja kustannuksiltaan suuntaa antavia. Kukin kohde on suunniteltava yksilöllisesti riippuen mm. meluidan sijainnista tien nähden, maaperäolosuhteista ja kohteen laajuudesta sekä aidalle asetettavista laatuvaatimuksista.

Tässä esitetyt kustannusarviot perustuvat Tiehallinnon sillanrakentamisen yksikköhintaluetteloon ja toimittajien ohjeellisiin hintoihin, joihin vaikuttaa kohteen koko. Yksikköhintaluettelosta on käytetty keskinkertaisen vaikeusasteen hintoja. Kustannuksissa ei ole huomioitui työmaan yhteiskustannuksia.

Tiehallinto on laatinut meluseinien rakenneratkaisun valintaan liittyviä ohjeita:

- Tiehallinnon tietoa tiensuunnitteluun nro 64A
*Markkinoilla olevia meluestetuotteita kesällä 2002
- Tiehallinnon tietoa tiensuunnitteluun nro 60
*Meluesteen runkomateriaalin vaikutus kustannuksiin
- Tiehallinto, pohjarakentamisen kustannustietoja, TIEH 4000330
- Meluesteperustukset; Tietekniikan ohjeita 1994, TIEL 2140007
- Meluesteet ja puijen meluesteen malli;

*Tielaitoksen selvityksiä 12/93, TIEL 3200139

- Meluseinät, rakennetekniset laatuvaatimukset;
*Tielaitoksen ohjeita 1990, TIEL 703604

Tässä selvityksessä tarkasteltavat meluseinät ovat vuonna 2003 markkinoilla olevia tuotteita, jotka täyttävät Tiehallinnon ohjeen Teiden Suunnittelu V3 Meluesteet (B) mukaiset laatuvaatimukset:

- Äänen eristävyys
- Äänen absorptio
- Tuulikuorma
- Aurauslumikuorma
- Ulkonäön muunneltavuus
- Mahdolliset muut ominaisuudet

5.2 Seinärakenteiden kustannusvertailujen perusteet

Tässä selvityksessä esitetyt kustannusvertailut vaihtoehtojen kesken perustuvat materiaalimenekeistä laskettuihin kustannuksiin, jotka on laskettu valmistajilta saatujen neliöhintojen mukaan.

- Paikalla rakennetun meluseinän kustannukset on saatu ”Sääksjärven melusuojaus” nimisen urakan urakkatarjouksesta.
- Elementtisen puisen meluseinän hinnan on antanut Vierumäen puuteollisuus Oy.
- Teräsbetonisten elementtien hinnat on antanut Parma Oy.

Lopputuloksen absoluuttinen hinta voi olla virheellinen, mutta hintaeroissa virhe on pieni. Lopputulokset ovat suuntaa antavia. Tulokset antavat kuitenkin mahdollisuuden tarkastella eri materiaalivehtoehtojen ja toteutustapojen vaikutusta toisiinsa valittujen moduulijakojen ja aita korkeuksien kesken.

5.3 Seinärakenteiden suositeltavat käyttöalueet

Vertailtujen seinärakenteiden suositeltavat pituudet ovat;

- sahatarvaralle 4-8 metriä (runko vahv.150 mm)
- puinen seinäelementti 4-6 metriä
- ontelolaatalla 4-8 metriä (vahv.150-200 mm)
- teräsbetonielementeille 4-8 metriä (vahv.150 mm).

Ontelolaatalla on mahdollisuus yltää jopa 12 metrin moduulimittoihin, mutta laatan vahvuus pitää tällöin olla ~450 mm.

Puisilla seinäelementeillä päästään valmistajan mukaan jopa 12 metrin moduulimitaan, mutta elementit ovat vielä pidempien moduulimittojen osalta koerakentamiskohteita.

5.4 Perustusten kustannusvertailujen perusteet

Vertailtavien perustamistapojen kustannuksissa esiintyy suuria eroja moduulimitan muuttuessa. Jokainen toteutus on yksilöllinen ja on selvitettävä erikseen. Kustannuksiin vaikuttavat materiaalien saatavuus sekä kuljetus etäisyys.

- Paikalla valettu antura sisältää anturan työ- ja materiaalikustannukset.
- Elementtianturan kustannuksissa ei ole huomioitu kuljetuskustannuksia työmaalle, jotka on tapauskohtaisesti selvitettävä kohteen sijainnin mukaan.
- Paaluperustuksien kustannuksissa ei ole huomioitu kuljetuskustannuksia työmaalle ja paalutuskoneen siirtoa, jotka on selvitettävä tapauskohtaisesti.

5.5 Moduulimitan vaikutukset

Seinärakenteen moduulimitan kasvaminen ei vertailussa aiheuta suuria muutoksia kustannuksiin laskettuna aidan juoksumetriä kohden (€ / jm).

Puisen elementtirakenteen kustannukset ovat selvästi muita suuremmat, vaikkakin moduulimitan lähtiessä kasvamaan 6 metristä ylöspäin, elementtivalmistuksen edut laskevat valmistuskustannuksia. Puuelementtirakenteen 4 metrin moduulimitan elementti on kalliimpi kuin sahatavarasta rakennettava johtuen erilaisesta rakenteesta. Seinärakenteiden vertailussa on huomioitu materiaalimäärät, ilman kuljetuskustannuksia.

Kustannuksiin on lisättävä tapauskohtaisesti seinärakenteen ja perustusten kiinnitysten toteutustavoista riippuvat kustannukset, joita ei ole sisällytetty vertailuun. Yhtenä vaihtoehtona on asennusvalu ja pulttiyhdistelmä, josta mallina liite 4b.

Moduulimitan kasvattamisella päähyöty saadaan perustusten / perustustöiden vähenemisellä.

Seinärakenteen kustannusvaikutus saadaan suoraan juoksumetriä kohden, kun rakenne on Tiehallinnon hyväksymä.

Muita tapauskohtaisesti rakenteen valintaan vaikuttavia asioita ovat mm. ulkonäkövaatimukset kohteen sijainnista, huollettavuus, liikenteen asettamat vaatimukset, maaston muotoilu ym.

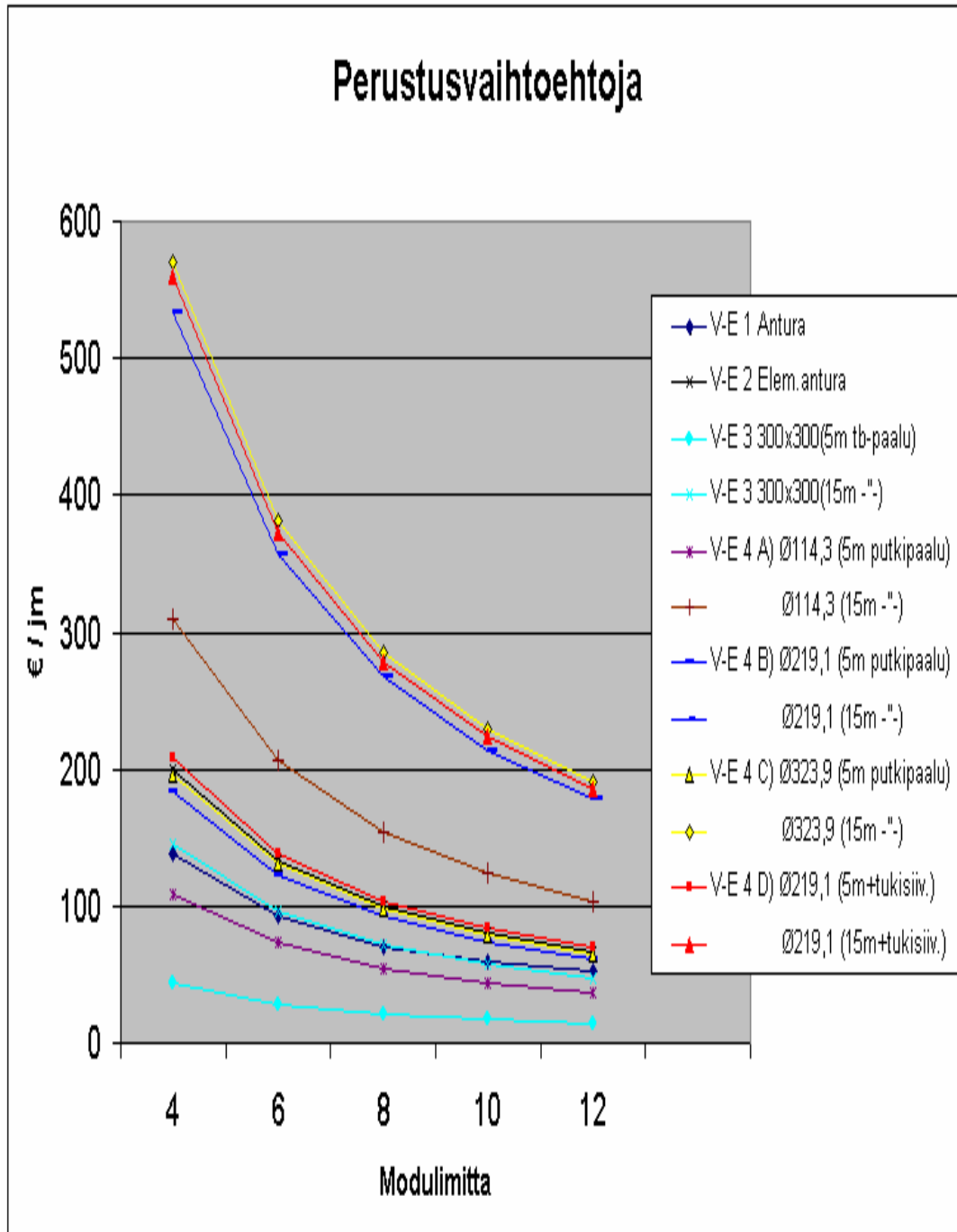
6 MELUSEINÄN KUSTANNUKSET

6.1 Perustamisvaihtoehdot

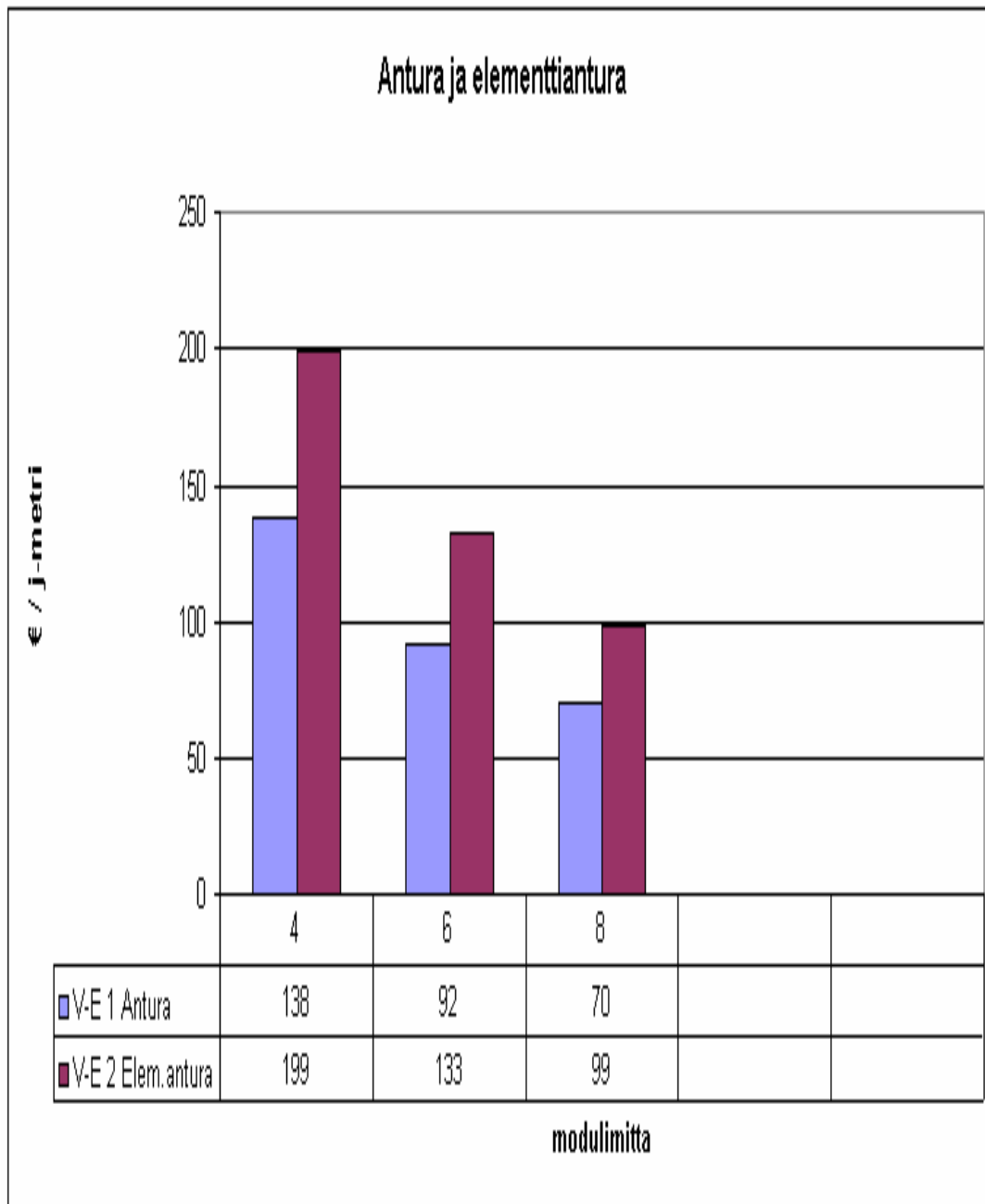
Meluseinän moduulijako Taulukko 5.

Perusta- mista- pa	Perustus €/kpl	4 m €/jm	6 m €/jm	8 m €/jm	10 m €/jm	12 m €/jm
V-E 1 antura	560	138	92	70	59	52
V-E 2 elementti- antura	760	199	133	99	80	66
V-E 3 teräsbetoni- paalu paalukoko 300x300 pituus 5 m	170	43	28	21	17	14
pituus 15 m	578	145	96	72	58	48
V-E 4 a putkipaalu Ø 114,3 mm pituus 5 m	435	109	73	54	44	36
pituus 15 m	1235	309	206	154	124	103
V-E 4 b Ø 219,1 mm pituus 5 m	735	184	123	92	74	61
pituus 15 m	2135	534	356	267	214	178
V-E 4 c Ø 323,9 mm pituus 5 m	785	196	131	98	79	65
pituus 15 m	2285	571	381	286	229	190
V-E 4 d Ø 219,1 mm + siivekkeet pituus 5 m	835	209	139	104	84	70
pituus 15 m	2235	559	373	279	224	186

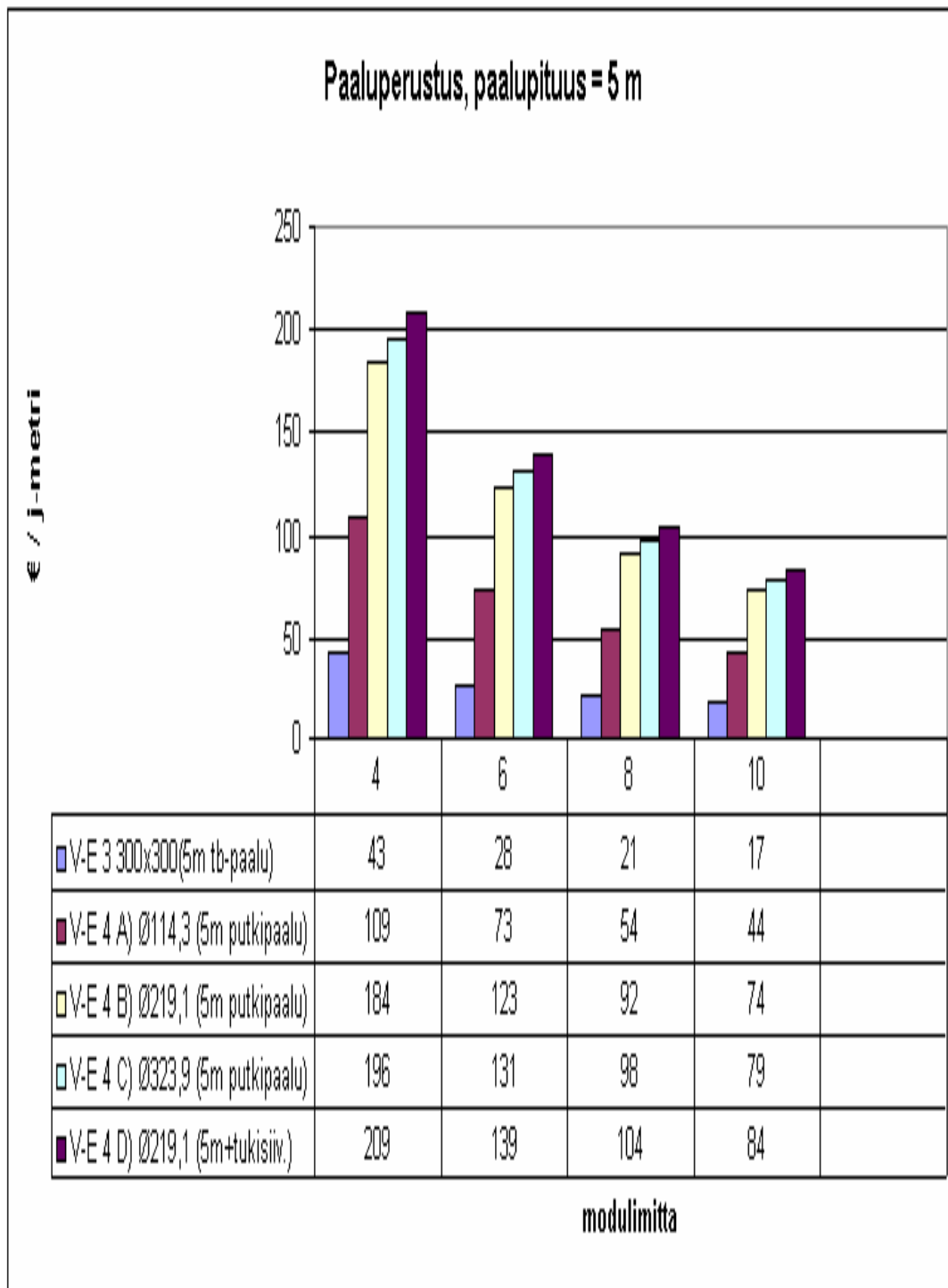
Seuraavassa kuvaajassa esitetään perustuskustannukset, joista kalleimmiksi osoittautuu paalutukset 15 metrin teräsputkipaaluilla. Edullisimmaksi osoittautuu 5 metrin teräsbetonipaalu, muut vaihtoehdot sijoittuvat näiden väliin.



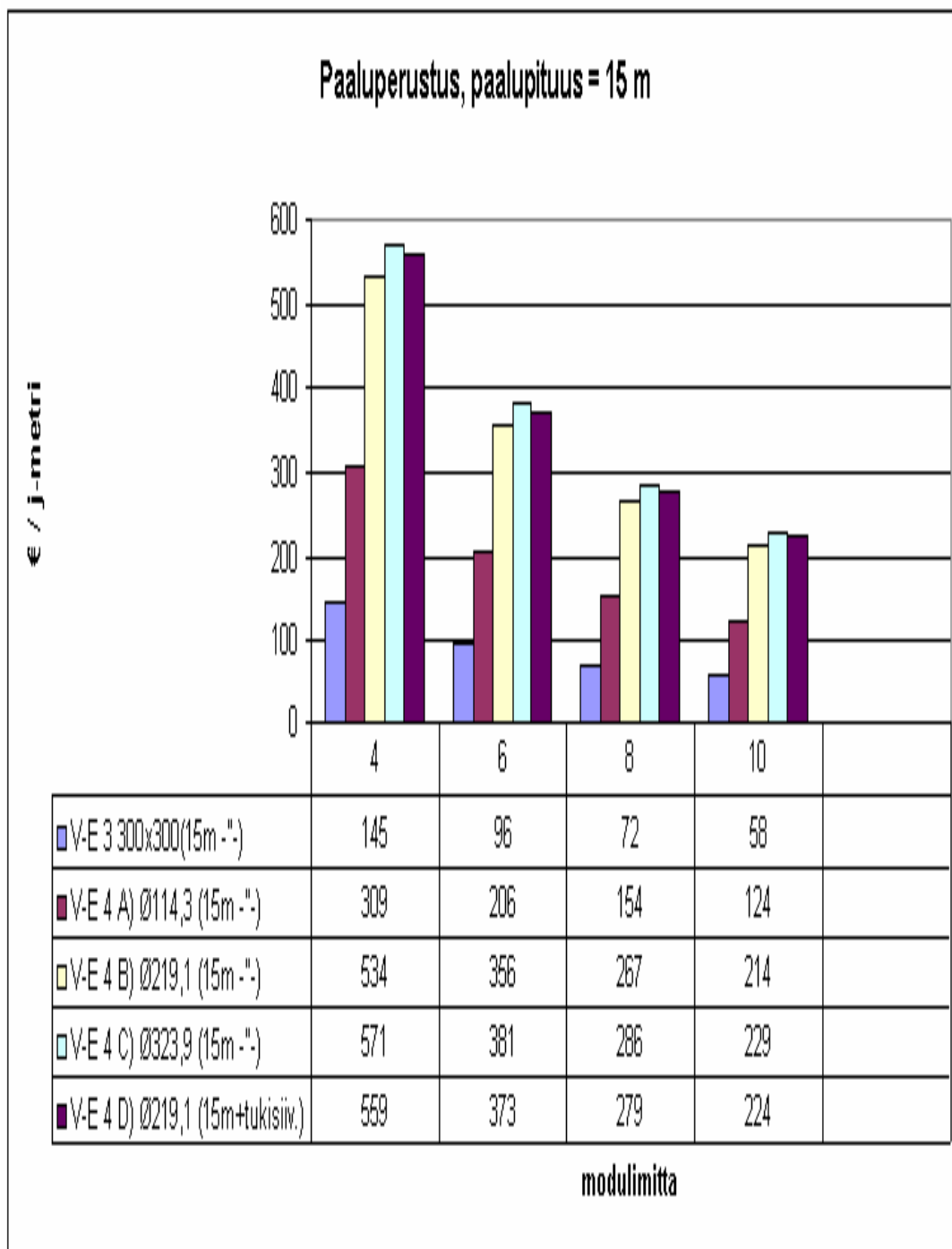
Kuvaaja 1. Perustuskustannukset € / jm.



Kuvaaja 2. Anturan ja elementtianturan kustannukset € / jm.



Kuvaaja 3. Paaluperustusten kustannukset € / jm.



Kuvaaja 4. Paaluperustusten kustannukset, paalut 15 m € / jm.

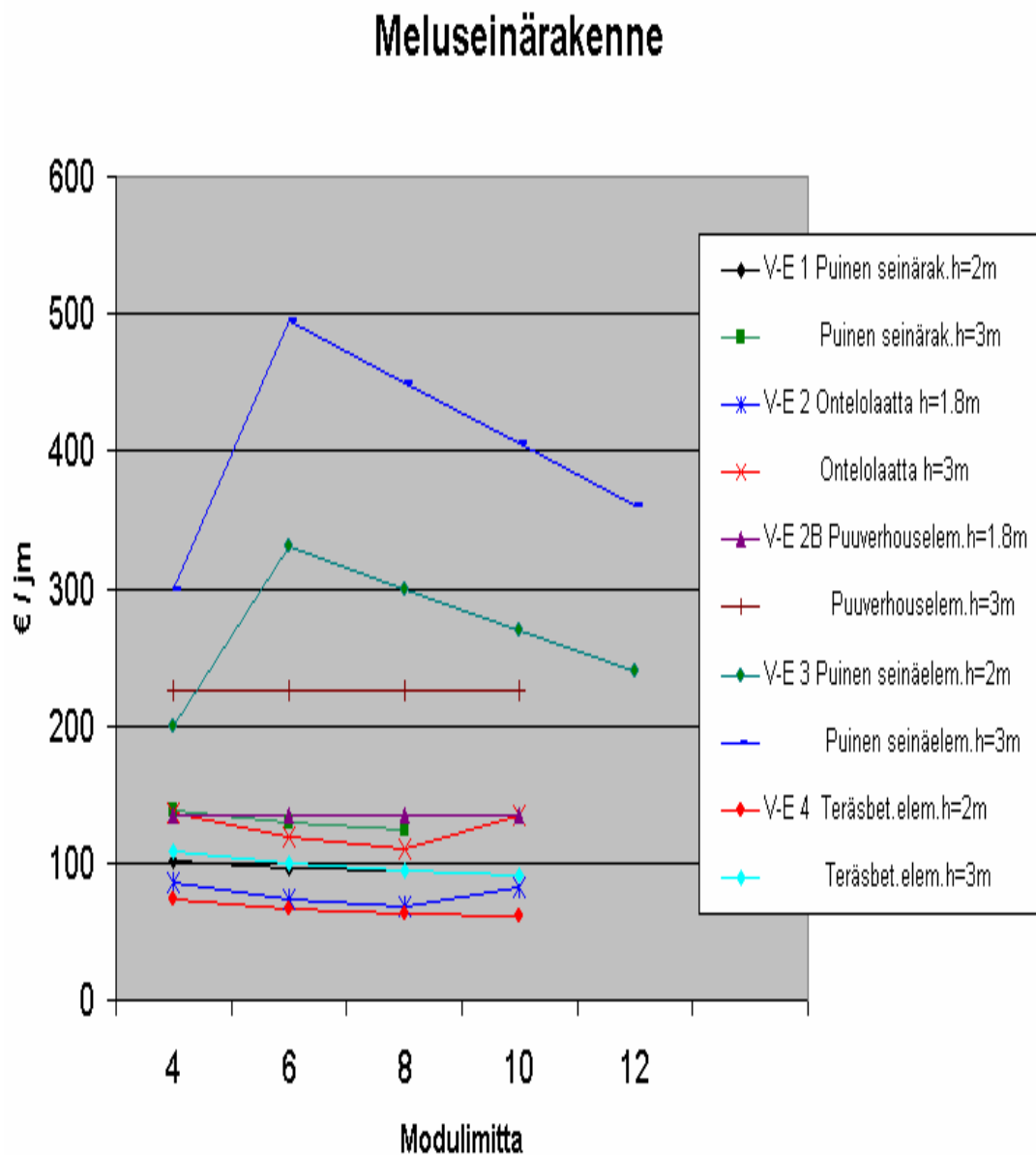
6.2 Yläpuolinen seinärakenne

Meluseinien kustannukset Taulukko 6.

Meluseinän moduulijako

Kustannus	4 m €/jm	6 m €/jm	8 m €/jm	10 m €/jm	12 m €/jm
V-E 1 puinen seinärakenne					
h = 2 m	100	90	100		
h = 3 m	120	118	115		
V-E 2a ontelolaatta ilman verhousta					
h = 1.8 m	95	85	84	90	
h = 3 m	130	120	115	135	
V-E 2b verhoiltu ontelolaatta h = 1,8 h= 3 m	135 225	135 225	135 225	135 225	
V-E 3 puinen elementti h = 2 m h = 3 m	200 300	330 500	300 450	275 410	245 360
V-E 4 teräsbetoni- elementti h = 2 m h = 3 m	80 105	70 100	65 98	65 95	

Seuraavan kuvaajan mukaan kalleimmaksi osoittautuu puuverhouselementti sekä 2 että 3 metrin korkuisena. Ensimmäisen 4-6 metrin moduulimitalla tapahtuva nousu johtuu verhouselementin normaalista materiaali/työkustannuksista toimittajan antamien tietojen pohjalta. Lasku taas johtuu elementtivaiheiden tuomasta edusta moduulimitan kasvaessa. Edullisimmaksi vaihtoehdoksi muodostuu pelkkä teräsbetonielementti. Ontelolaatta vaihtoehdon kustannusten nousu 8-10 metrin moduulimitalle muodostuu rakenteen vahvuuden muutoksesta.



Kuvaaja 5. Meluseinärakenteen kustannukset € / jm.

7 YHTEENVETO

Kaksi edullisinta seinämätyyppiä

Seinän korkeus 1,8 m

Kaikilla jännemitoilla ontelolaatta on edullisin ja teräsbetonielementti toiseksi edullisin.

Seinän korkeus 2 m

Kaikilla jännemitoilla on teräsbetonielementti edullisin ja ontelolaatta toiseksi edullisin.

Seinän korkeus 3 m

Kaikilla jännemitoilla on teräsbetonielementti edullisin ja ontelolaatta toiseksi edullisin.

Tämän selvityksen perusteella on kaikissa tapauksissa edullisinta rakentaa meluseinä joko teräsbetonielementtinä tai ontelolaattana. Mikäli laatuvaatimuksissa on edellytetty puupintaa kannattaa se rakentaa se tämän selvityksen perusteella rakentaa ohuesta rimasta laatan päälle.

Perustamistavoista kaikkein edullisin on teräsbetoninen paaluperustus. Toiseksi edullisin on teräsputkipaaluperustus.

Tämän selvityksen perusteella pystytään suunnittele ja toteuta urakan tarjousvaiheessa rajaamaan pois kalleimmat vaihtoehdot, kun otetaan huomioon maaperä ja laatuvaatimuksissa esitetty meluseinän korkeus ja pintamateriaali.

Teräsbetoninen paaluperustuksen mahdollisuus kannattaa aina tutkia, vaikka maaperän kantavuus riittäisikin anturaperustukselle.

Teräsbetoniin paaluun tulee kehittää uusi pilarin kiinnitystapa, joka mahdollistaa erilaisten pilarien kiinnittämisen paaluun.

Selvityksessä tutkitut eri perustamisvaihtoehdot eri pohjaolosuhteissa ovat sellaisenaan käyttökelpoiset.

Lopullista tarjousta laskettaessa on rakentamisajankohdalla suuri merkitys. Kyselyjen perusteella esimerkiksi ontelolaattoja saa sydäntälvellä elementtitehtailta hyvin edullisesti. Tämän tyyppisiä kausivaihteluita ei tässä tutkimuksessa ole huomioitu.

Moduulimitan kasvattamisen suurin hyöty on perustustöiden väheneminen.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet:

- | | |
|----|--|
| 1 | Tiehallinnon tietoa tiensuunnitteluun nro 64A |
| 2 | Tiehallinnon tietoa tiensuunnitteluun nro 60 |
| 3 | Tiehallinto, pohjarakentamisen kustannustietoa TIEH 4000330 |
| 4 | Meluesteperustukset; Tietekniikan ohjeita 1994, TIEL 2140007 |
| 5 | Tielaitoksen selvityksiä 12/93, TIEL 3200139 |
| 6 | Tielaitoksen ohjeita 1990, TIEL 703604 |
| 7 | Meluesteen runkomateriaalin vaikutus kustannuksiin TIEH 2002 |
| 8 | Melusteet ja puisen meluesteen malli TIEL 3200139 |
| 9 | Meluseinän rakenteet ja laatuvaatimukset TIEL 703604 |
| 10 | RR paalutusohjeet Rautaruukki |
| 11 | EN 1794 Melusteiden laatuvaatimukset |
| 12 | Tiehallinto pohjarakentamisen kustannustietoa TIEH 4000330 |
| 13 | LPO-2005 Lyöntipaalutusohje |
| 14 | Ympäristömelun vaikutukset Ympäristöministeriö |
| 15 | Melusteiden eristävyysvaatimukset TIEL 2140013 |

Painamattomat lähteet

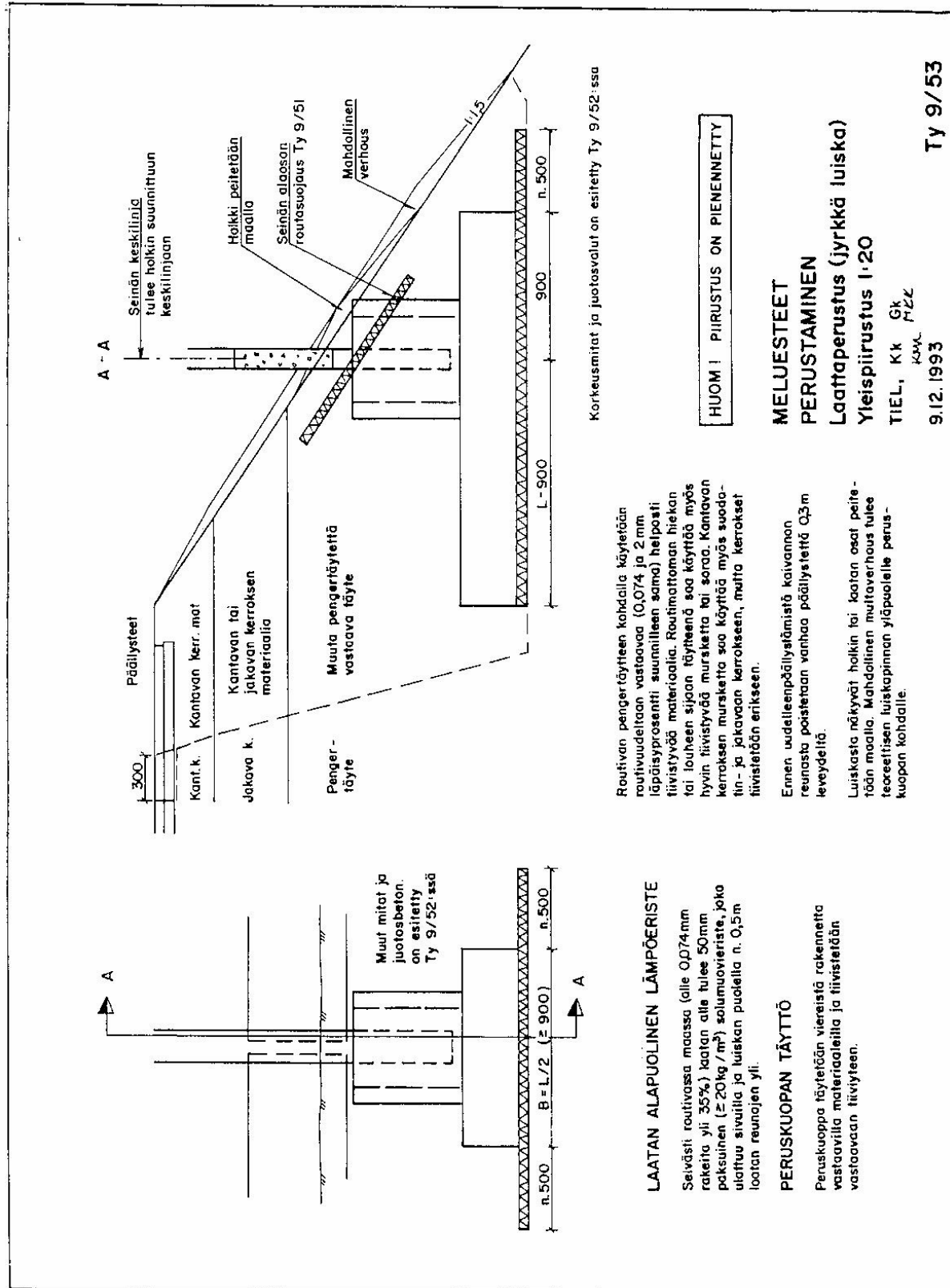
- | | |
|----|--|
| 16 | Tukipaaluilla perustettu meluseinä Jarmo Nirhamoa |
| 20 | Tiesuunnitelma ”Sääksjärven melusuojaus” TIEL 2001 |

Sähköiset lähteet

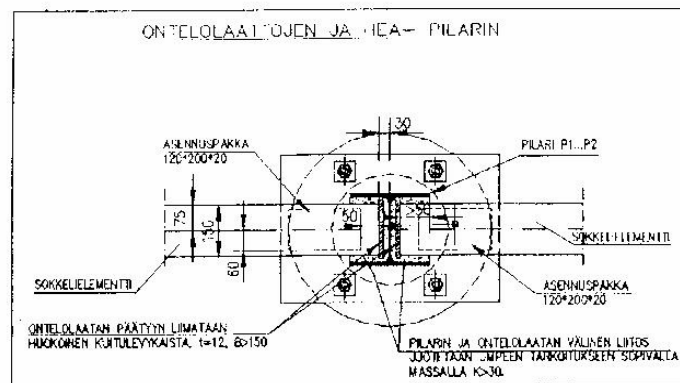
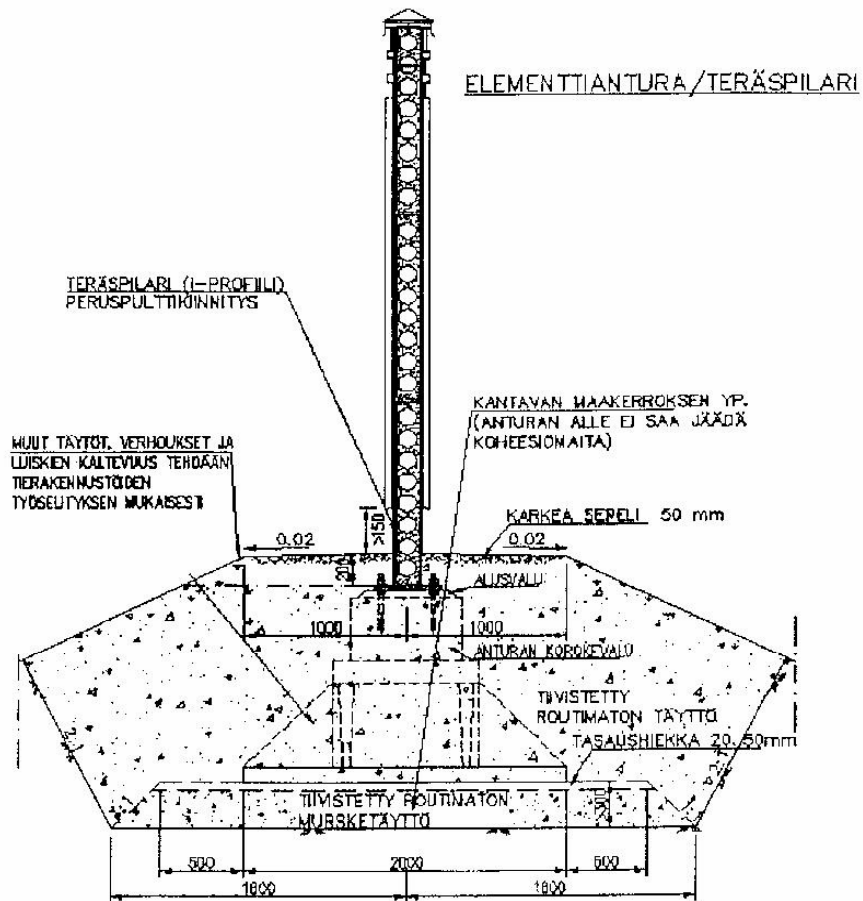
- | | |
|----|--------------------------|
| 17 | Versowood Oy:n kotisivut |
| 18 | abetoni Oy:n kotisivut |
| 19 | Parma Oy:n kotisivut |

LIITE 1

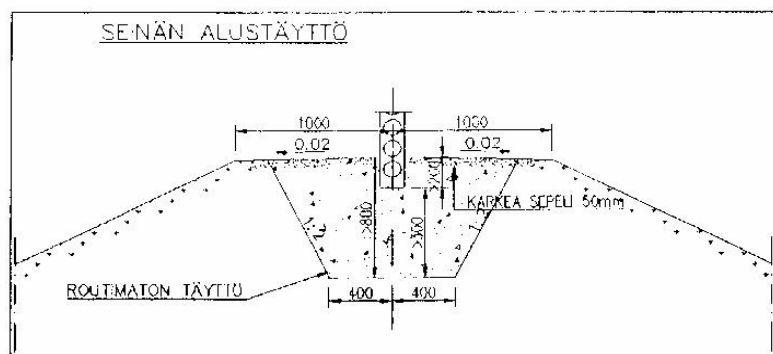
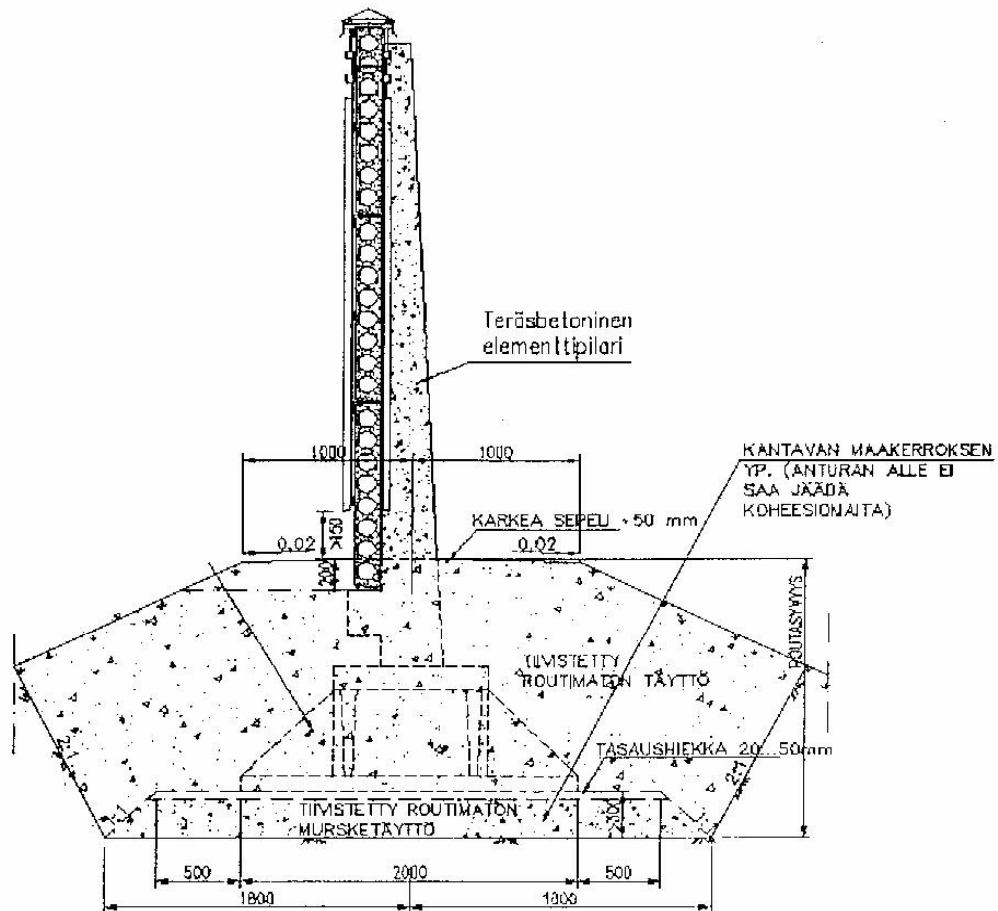
TIEL:n tyyppikuva



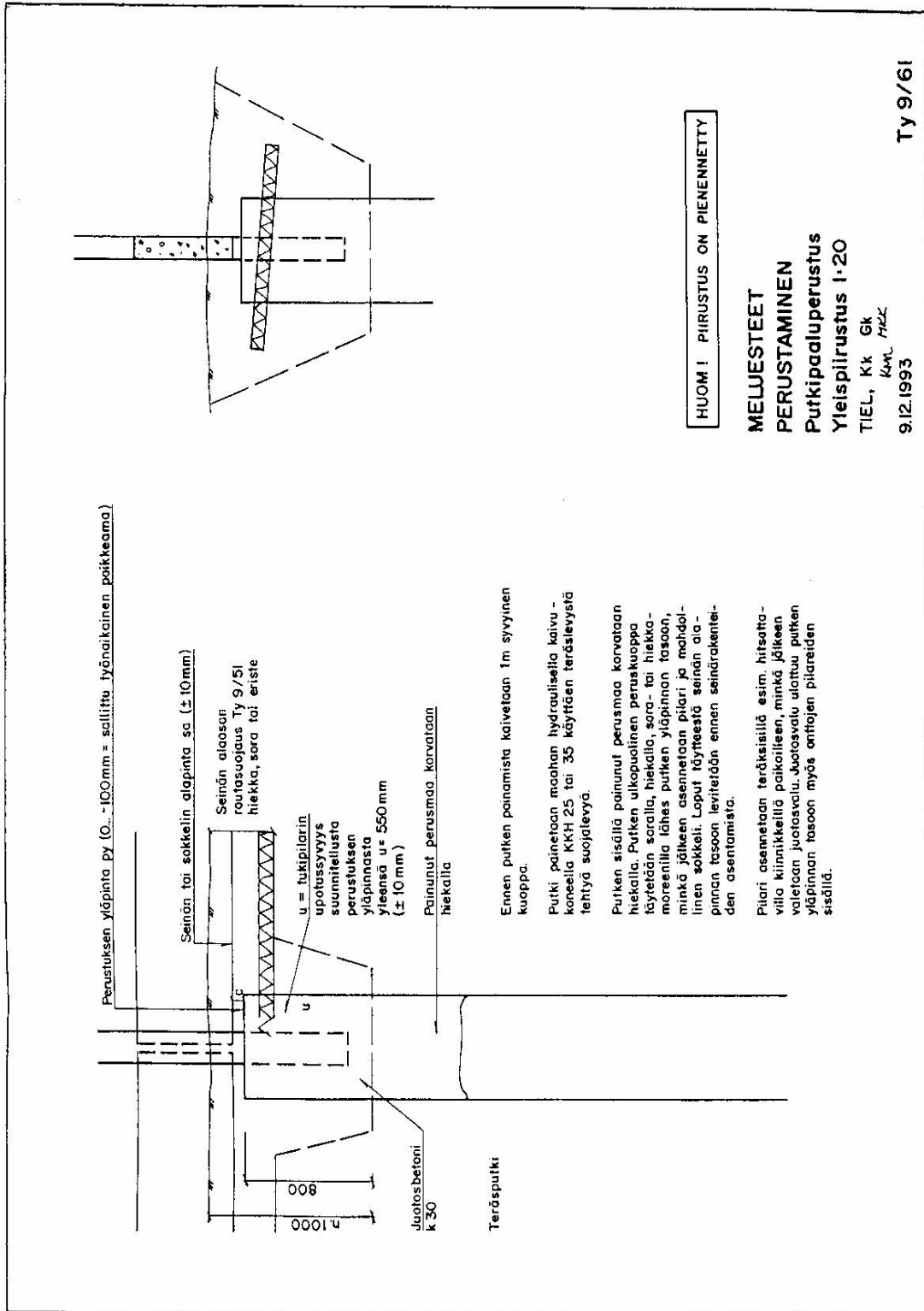
LIITE 2 a
Parma Oy:n tyypikuva



LIITE 2 b
Parma Oy:n tyypikuva

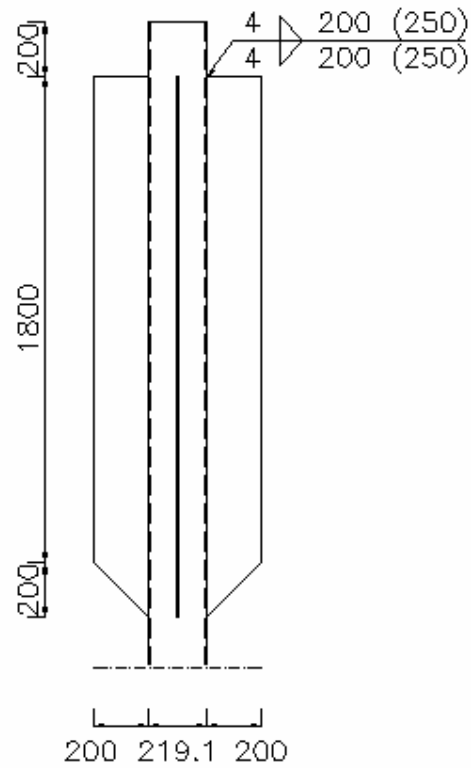


LIITE 4 a
TIEL:n tyypikuva



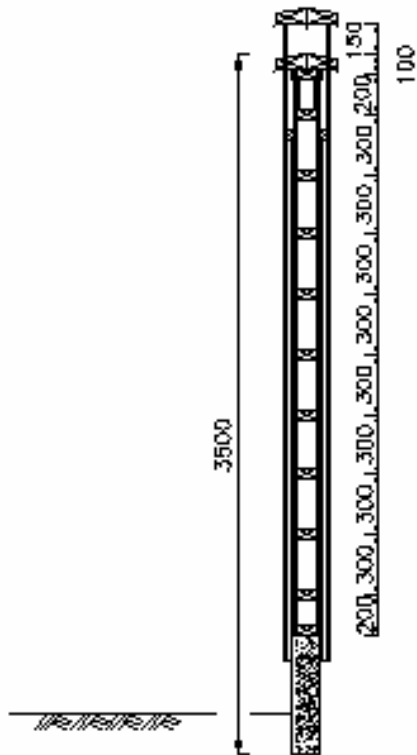
Technical drawing of a chimney base cross-section. The drawing shows a central vertical chimney shaft with a cross-section of circles (bricks). The base is a square foundation with a width of 1000 mm. The foundation is divided into two parts: a central concrete core (KARKEA SEPEL) and a surrounding layer of compacted gravel (TIMSTETTY RÖUTIMÄTÖN TÄYTTÖ). The concrete core has a width of 500 mm. The gravel layer has a width of 1000 mm. The foundation is labeled 'ASENNUSVALO' (installation level). The chimney shaft is labeled 'PÄÄLUPERUSTUS/TERÄSPILARI' (top foundation/steel chimney) and 'TERÄSPILARI (I-PROFIILI) PERUSPUUTIKIRJAIN' (steel chimney (I-profile) foundation letter). Dimensions include 1000 mm for the foundation width, 500 mm for the concrete core width, and 1000 mm for the gravel layer width. Slopes are indicated with a ratio of 0.02.

LIITE 4 c
Diplomityö
Teräsputkipaaluilla perustettu
meluseinä./16/
Jarmo Nirhamo 1995

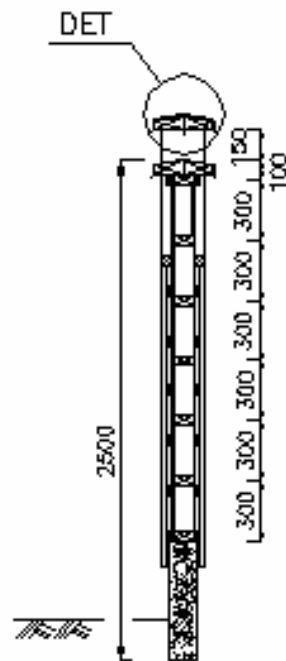


LIITE 5
Suunnitelma ”Sääksjärven
melusuojaus”

Puinen meluseinärakenne
Korkeus 3000 mm

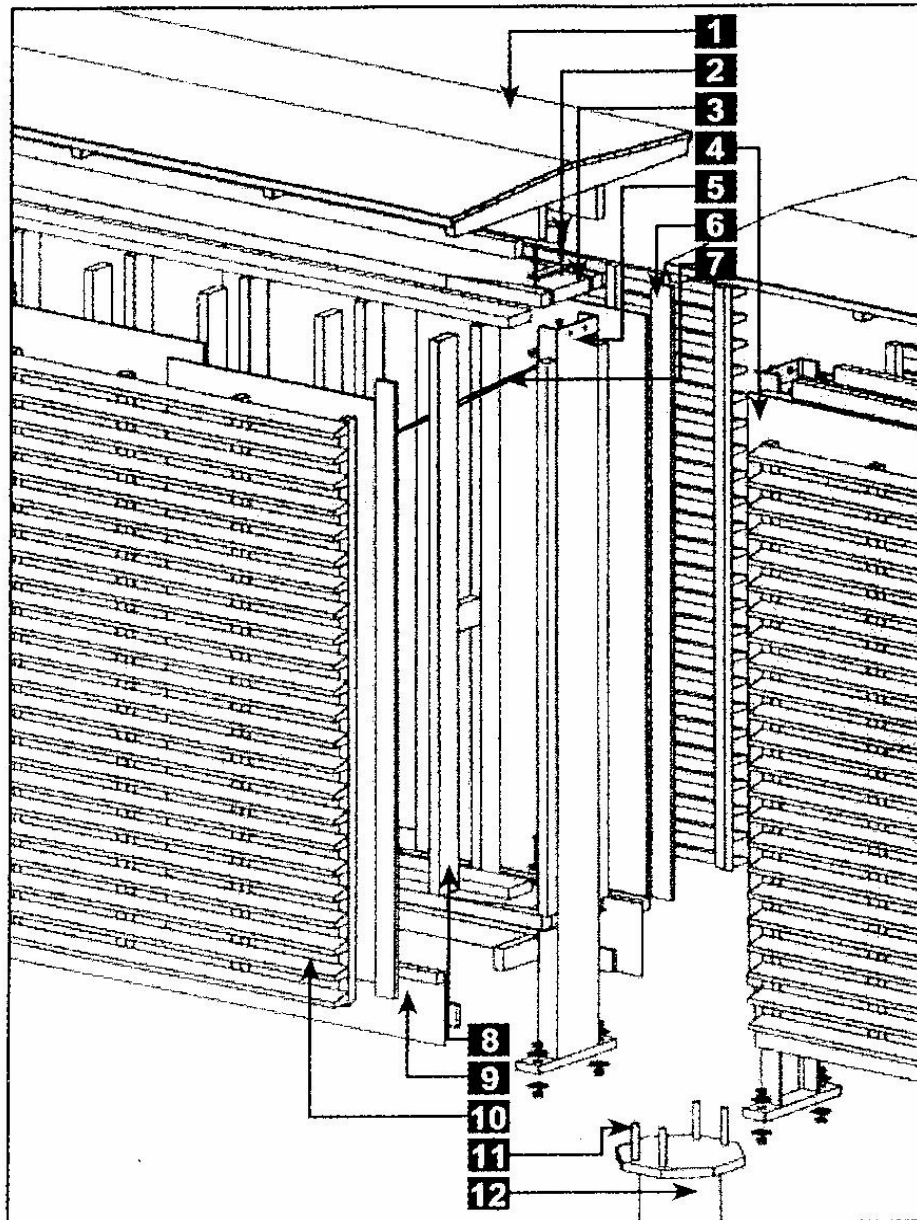


Puinen meluseinärakenne
Korkeus 2000 mm



LIITE 6

Versowood Oy:n tyypikuva



- 1. Kate-elementti
- 2. Kiinnitysosa
- 3. Palkki
- 4. Pintalevytytys

- 5. Teräspilari
- 6. Vuorilauta
- 7. Vetotanko
- 8. Koolaus

- 9. Kumimattosokkeli
- 10. Verhouselementti
- 11. Peruspultit
- 12. Teräsputkipaalu tai
vaihtoehtoisesti
teräsbetoniantura